

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

**Vliv rovnání na vlastnosti ocelového pásu
válcovaného zatepla**

Influence of Levelling on Hot-Rolled Steel Strip Properties

Student: Bc. Daniel Richterek

Vedoucí práce: prof. Ing. Radek Čada, CSc.

Ostrava 2020

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Daniel Richterek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: **Vliv rovnání na vlastnosti ocelového pásu válcovaného zatepla**
Influence of Levelling on Hot-Rolled Steel Strip Properties
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Popište postup válcování pásů zatepla v podniku Liberty Ostrava, a. s. Charakterizujte vlastnosti takto vyrobených pásů.
2. Popište technologii rovnání pásu před příčným dělením do plechů na dělicí lince v podniku Liberty Distribution Ostrava, s. r. o.
3. Uveďte požadavky na plechy zpracované dělicí linkou, popište stávající způsoby kontroly vlastností plechů a příklady užití zpracovaných plechů.
4. Porovnejte mechanické vlastnosti a mikrostrukturu pásu před a po rovnání válečkovou rovnačkou dělicí linky v podniku Liberty Distribution Ostrava, s. r. o.
5. Porovnejte mechanické vlastnosti a mikrostrukturu pásu před a po rovnání válečkovou rovnačkou při použití přidavného tahu v pásu.
6. Na základě výsledků analýz změn mechanických vlastností a mikrostruktury při rovnání pásu zformulujte doporučení vedoucí ke zlepšení výroby. Proveďte zhodnocení nastavení rovnaček dělicí linky pro různé tloušťky vstupního pásu.

Seznam doporučené odborné literatury:

POKORNÝ, Arnošt. *Tvářecí stroje: navíječky, rozvíječky, svinovačky, značkovací, vázací stroje. skriptum*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1993. 148 s. ISBN 80-7078-199-8.

ČADA, Radek. *Tvářitelnost ocelových plechů: odborná knižní monografie*. Lektorovali. L. Pollák a P. Rumíšek. 1. vyd. Ostrava: REPRONIS, 2001. 346 s. ISBN 80-86122-77-8.

ČADA, Radek. *Technologie tváření, slévání a svařování. Plastická deformace kovů, tažení plechu, ohýbání, objemové tváření zastudena: skriptum*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2016. 86 s. ISBN 978-80-248-3981-3.

ČADA, Radek. *Technologie tváření, slévání a svařování: Strihání a tažení plechu, objemové tváření zastudena. návody do cvičení. skriptum*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2014. 90 s. ISBN 978-80-248-3624-9.

ČADA, Radek. *Tvářitelnost materiálů a nekonvenční metody tváření: Plošná tvářitelnost: návody do cvičení. skriptum*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - TU Ostrava, 2002. 148 s. ISBN 80-248-0019-5.

HRUBÝ, Jiří, RUSZ, Stanislav a ČADA, Radek. *Strojírenské tváření: skriptum*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 2006. 160 s. ISBN 80-248-1218-5.

ČADA, R. Evaluation of sheet-metal strain by embossed circular grids. In: *Sborník příspěvků z workshopu „New Trends“ (Kopřivnice, 21.-23. 2. 2013)*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TUO, FS, Katedra mechanické technologie, 2014, s. 2-7. ISBN 978-80-248-3414-6.

ČADA, R. Vyhodnocení tvářitelnosti plechu s využitím nekonvenčních kritérií. In: *Sborník příspěvků odborného diskuzního fóra „Nanotechnologie“ (Ostravice, 15.-16. 11. 2011)*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TUO, FS, Katedra mechanické technologie, 2014, s. 2-8. ISBN 978-80-248-3406-1.

ČADA, R. Vyhodnocení tvářitelnosti nízkouhlikové oceli. In: *Sborník příspěvků odborného diskuzního fóra „Nové technologie“ (Hukvaldy, 26.-27. 9. 2012)*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TUO, FS, Katedra mechanické technologie, 2014, s. 2-8. ISBN 978-80-248-3408-5.

ČADA, Radek. Měření součinitele plastické anizotropie u plechů. In: *Sborník příspěvků odborného diskuzního fóra „Trvale udržitelný vývoj a aplikovaný výzkum“ (Malenovice, 17.-18. 10. 2013)*. 1. vyd. Ostrava: VŠB-TUO, FS, Katedra mechanické technologie, 2014, s. 8-12. ISBN 978-80-248-3410-8.

EVIN, E., HRIVŇÁK, A. a KMEC, J. Získavanie materiálových údajov pre numerickú simuláciu. In: *Zborník prednášok 7. medzinárodnej konferencie TECHNOLÓGIA 2001 I. diel*. Bratislava: Slovenská technická univerzita v Bratislave, 2001. s. 281-284. ISBN 80-227-1567-0.

MACHÁLEK, Jakub, ČADA, Radek a FRODLOVÁ, Barbora. *Simulace procesů plošného tváření v softwaru PAM-STAMP 2G. skriptum*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2012. 120 s. ISBN 978-80-248-2715-5.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Radek Čada, CSc.**

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 17. května 2020


.....
Podpis autora práce

Prohlašuji, že:

- jsem si vědom, že na tuto moji závěrečnou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., zákon o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (dále jen „autorský zákon“), zejména § 35 (Užití díla v rámci občanských či náboženských obřadů nebo v rámci úředních akcí pořádaných orgány veřejné správy, v rámci školních představení a užití díla školního) a § 60 (Školní dílo),
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo užít tuto závěrečnou diplomovou práci nekomerčně ke své vnitřní potřebě (§ 35 odst. 3 autorského zákona),
- bude-li požadováno, jeden výtisk této diplomové práce bude uložen u vedoucího práce,
- s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona,
- užít toto své dílo, nebo poskytnout licenci k jejímu využití, mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše),
- беру на вѣдомі, že podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů – že tato diplomová práce bude před obhajobou zveřejněna na pracovišti vedoucího práce a v elektronické podobě uložena a po obhajobě zveřejněna v Ústřední knihovně VŠB-TUO, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 17. května 2020



Podpis autora práce

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

RICHTEREK, D. *Vliv rovnání na vlastnosti ocelového pásu válcovaného zatepla: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2020, 63 s. Vedoucí práce: Čada, R.

V diplomové práci jsou popsány způsoby výroby za tepla válcovaného pásu a také nejpoužívanější způsoby strojního rovnání pásu s cílem odstranění vad geometrie pásu vznikajících při válcování, a to převážně vlnitosti. V práci je posouzen vliv použitého způsobu rovnání na vlastnosti zpracovávaného materiálu, jako jsou změny mechanických vlastností, změny mikrostruktury a změny rozměrů. Výsledky této diplomové práce budou použity v praxi pro zvýšení přesnosti a kvality vyráběných ocelových pásů.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

RICHTEREK, D. *Influence of Levelling on Hot-rolled Steel Strip properties: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2020, 63 p. Thesis head: Čada, R.

Master thesis describes ways of producing hot rolled steel plates and the most often used ways of machine levelling focused on removing of geometry imperfections appearing during rolling, especially on waviness. The thesis assess impact of used way of levelling on qualities of manufactured material, e.g. changes of mechanical qualities, changes of micro-structure and changes of dimensions. Results of the master thesis will be used for increasing accuracy and quality of produced steel plates in practise.

Obsah

Seznam použitých značek a symbolů.....	9
Úvod.....	10
1 Představení společnosti	11
1.1 Historie Liberty Ostrava, a. s.....	11
1.2 Závody společnosti	12
1.3 Liberty Distribution Ostrava, s. r. o.....	14
2 Výroba ocelového pásu na válcovací trati P-1500 Steckel v Liberty Ostrava, a. s. 15	
3 Rovnání	18
3.1 Rovnání pomocí válečkových rovnaček.....	19
3.2 Rovnání částečným převálcováním (Skin Pass Mill).....	21
3.3 Rovnačka kombinující napnutí a ohyb (Tension levelling).....	22
3.4 Rovnání natažením (Stretch levelling)	24
4 Testovaný materiál.....	26
4.1 Charakteristika oceli S235JR	26
4.2 Požadavky na kvalitu plechů	27
4.2.1 Tloušťka plechu	27
4.2.2 Šířka plechu	28
4.2.3 Délka.....	28
4.2.4 Přímost hran.....	28
4.2.5 Pravoúhlost	29
4.2.6 Rovinnost.....	30
4.2.7 Povrchové vady	32
4.2.8 Vadné hrany.....	33
4.2.9 Vnitřní pnutí.....	34
4.2.10 Způsoby využití plechů.....	35
5 Experimentální část.....	36
5.1 Popis testovaných způsobů rovnání.....	36
5.1.1 Rovnání jednou rovnačkou bez přidaného tahu.....	37
5.1.2 Rovnání pomocí dvou rovnaček současně s přidaným tahem v pásu.38	
5.1.3 Hodnocení nastavení rovnaček	39
5.2 Odběr vzorků	40
5.3 Použité metody	43
5.3.1 Tahová zkouška	43
5.3.2 Metalografie.....	46

6	Zjištěné výsledky	47
6.1	Porovnání změn mechanických vlastností.....	47
6.2	Porovnání mikrostruktury.....	53
6.3	Porovnání změn rozměrů.....	57
7	Závěr	59
8	Seznam příloh	62
9	Seznam použité literatury.....	63

Seznam použitých značek a symbolů

LO	Liberty Ostrava, a. s.	
LDO	Liberty Distribution Ostrava, s. r. o.	
ČSN	Česká technická norma	
EN	Euro norm	
ZPO	Zařízení plynulého odlévání	
A	tažnost	[%]
A_{gt}	celkové prodloužení při největším zatížení	[%]
R_e	výrazná mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
R_{eH}	horní výrazná mez kluzu	[MPa]
Z	kontrakce	[%]
G	číslo velikosti zrna	

Úvod

Ve všech oborech lidské činnosti dochází neustále ke zvyšování nároků zákazníků na kvalitu výrobků a strojírenství není výjimkou, spíše naopak. Zaváděním přesnějších moderních strojů a nových efektivnějších výrobních procesů a metod rostou i nároky na kvalitu vstupního materiálu a polotovarů. Z těchto důvodů je i pro výrobce hutních polotovarů důležité modernizovat své zařízení a neustále zlepšovat výrobní procesy. Proto je také důležité znát možnosti výrobního zařízení a vliv výrobních procesů na kvalitu výrobku.

Předmětem diplomové práce je ověření, zda při používaných způsobech rovnání za tepla válcovaného ocelového pásu nedochází k negativním změnám vlastností zpracovávaného materiálu a tím k nedodržení požadovaných parametrů, které jsou předepsány příslušnými normami, popřípadě požadavky zákazníka. V práci jsou popsány i méně používané způsoby strojního rovnání ocelových pásů. Dále je popsána výroba za tepla válcovaného pásu na válcovací trati typu Steckel v podniku Liberty Ostrava, a. s.

Cílem práce je zjistit vliv používaných způsobů rovnání (rovnání válečkovou rovnačkou nebo rovnání válečkovou rovnačkou při použití přídatného tahu v pásu) na příčně dělicí lince v podniku Liberty Distribution Ostrava, s. r. o. na vlastnosti zpracovávaného materiálu a navrhnout na základě zjištěných dat doporučení a postupy pro eliminaci možného negativního dopadu na parametry výsledného výrobku. Cílem práce je na základě výsledků analýz změn mechanických vlastností a mikrostruktury při rovnání pásu zformulovat doporučení vedoucí ke zlepšení výroby a rovněž provést zhodnocení nastavení rovnaček dělicí linky pro různé tloušťky vstupního pásu. Experimentální část práce je zaměřena především na porovnání mechanických vlastností, mikrostruktury a rozměrů pásu před a po jeho rovnání válečkovou rovnačkou nebo rovnání válečkovou rovnačkou při použití přídatného tahu v pásu.

1 Představení společnosti

1.1 Historie Liberty Ostrava, a. s.

Historie firmy se začala psát již v roce 1942, kdy Vítkovické železářny (tehdy ve správě koncernu Reichswerke Hermann Göring) iniciovaly vznik nového závodu v Kunčicích, protože jejich další rozvoj omezovalo umístění přímo ve městě a začala výstavba jižního závodu. Původní plán nepočítal s kompletní hutní výrobou tzn. s vlastními vysokými pecemi, ocelárnou a ostatními navazujícími provozy. Po skončení 2. světové války v letech 1947–1948 padlo rozhodnutí o výstavbě hutnického komplexu na území obcí Bartovice, Kunčice a Kunčičky.

Na konci roku 1951 došlo k osamostatnění a byl založen národní podnik Nová huť Klementa Gottwalda. Mezi lety 1951–1958 byly dány do provozu hlavní části železáren, kterými byly koksárenské baterie, dvě vysoké pece, čtyři siemens-martinské pece, hlubinné pece, blokovna, válcovna trub, slévárna.

V letech 1958–1961 došlo především k rozšíření kapacit výroby koksu, surového železa a oceli. Dále byly uvedeny do provozu pásové tratě P800 a P250, kontidráťová trať, zařízení pro spirálové svařování trubek, linka pro výrobu automobilových disků.

Mezi lety 1967–1985 prošla modernizací ocelárna, kde byly siemens-martinské pece nahrazeny tandemovými pecemi. Jedna z největších investic přišla v 80. letech, kdy byla postavena středojemná válcovna. Tato válcovna má jednu z nejdelších válcovacích tratí (zhruba jeden kilometr) a v 80. letech byla co do výše investic (přes 7 miliard korun) druhým nejvýznamnějším investičním projektem v republice – hned za jadernou elektrárnou Temelín.

V 90. letech prošla huť velkou změnou, kdy bylo zrušeno odlévání do ingotů a jejich následné válcování. V prosinci 1993 bylo spuštěno první zařízení plynulého odlévání (ZPO). ZPO č. 2 následovalo v prosinci roku 1997 a v srpnu roku 1999 poslední ZPO č. 3. Následně mohl být ukončen provoz hlubinných pecí, blokovny a sochorové tratě. ZPO č. 2 je součástí minihutě, kde v roce 1999 byl zahájen zkušební provoz nové válcovací trati pro výrobu širokého za tepla válcovaného pásu Steckel P1500.

Mezi lety 1996–2006 se stal závod 12 „Vysoké pece“ společným podnikem Nové huti a Vítkovických železáren pod názvem „Vysoké pece Ostrava“. V roce 1998 byla ukončena výroba železa ve vysokých pecích Vítkovických železáren (dnešní Dolní oblast Vítkovic). Spotřeba železa vítkovických oceláren byla kryta právě výrobou v tomto společném

podniku. Surové železo v tekutém stavu bylo z Nové huti do Vítkovic přepravováno v pojezdových mísičích (tzv. Veroniky).

Po roce 1989 se změnil název Nové huti Klementa Gottwalda, s. p. na Novou huť, a. s. Další změna názvu přišla s příchodem nového vlastníka v roce 2003, kdy byla huť z privatizována a vznikl podnik Ispat Nová Huť, a. s. O dva roky později byla huť přejmenována na Mittal Steel Ostrava, a. s. Po fúzi dvou největších ocelářských společností Arcelor a Mittal Steel, byl podnik v roce 2007 přejmenován na ArcelorMittal Ostrava, a. s. Od roku 2019 patří huť do skupiny Liberty Steel Group, která je součástí globálního uskupení GFG Alliance patřícího rodině britského podnikatele s indickými kořeny Sanjeeva Gupty a nese název Liberty Ostrava, a. s.

1.2 Závody společnosti

Závod Koksovna

je největším výrobcem koksu v České republice. Dvě koksárenské baterie s pěchovaným provozem a velkoprostorová koksárenská baterie se syným provozem mají roční produkci cca 1,2 milionů tun koksu. V chemické části závodu jsou vyráběny chemické produkty (surový černouhelný dehet, surový koksárenský benzol, koksárenský plyn, kapalná síra).

Závod Vysoké pece

disponuje čtyřmi vysokými pecemi. V současné době je pro naplnění požadavků odběratelů surového železa dostatečný provoz dvou vysokých pecí s roční kapacitou výroby přes 2 miliony tun surového železa. Převážná část produkce tekutého surového železa je spotřebovávána závodem 13 – Ocelárna, zhruba 3,5 % produkce surového železa je zpevňováno na lícím stroji, a to v několika sortimentních třídách dle požadavků zákazníků na chemické složení těchto pevných ocelářských nebo slévárenských surových želez. Objemově nejmenší část produkce (asi 0,5 %) je určena pro slévárnu společnosti Liberty Engineering Products Ostrava, s. r. o.

Vysokopecní rudná vsázka je prioritně zajišťována spékáním prachových rud ve vlastním provozu 121 – Aglomerace, zbývající část vsázky tvoří pelety, kusové rudy a rovněž druhotné suroviny. Vysokopecní koks je dodáván sousedním závodem 10 – Koksovna, část metalurgického koksu a ostatní paliva jsou nakupována z externích zdrojů.

Mimo výrobu surového železa a aglomerátu, který je pouze pro vlastní spotřebu, jsou externím zákazníkům prodávány výrobky z vysokopecní strusky, a to jednak struskové

kamenivo v několika granulometrických sortách vyráběných zejména pro stavební účely a dále vysokopecní granulát pro další zpracování v cementárnách a sklárnách.

Závod Ocelárna

je největším výrobcem oceli v České republice. Ocel se vyrábí kyslíkovým pochodem ve čtyřech tandemových pecích s roční produkcí přes 3 mil. tun. Po odpichu se ocel dohotovuje na cílové parametry pro lití na pánvových pecích. Dále se tekutá ocel odlévá v sekvencích na třech zařízeních ZPO do sochorů, bram či bramek.

Závod Válcovny

Součástí tohoto provozu jsou celkem čtyři válcovací tratě:

Válcovací trať HCC produkuje střední a hrubou profilovou ocel, dále vyrábí profily výztuží a plochou ocel 130 až 170 mm.

Kontidráťová trať vyrábí za tepla válcovaný ocelový drát o průměrech 5,5–14 mm a tyče menších průměrů.

Středojemná válcovna vyrábí za tepla válcované dlouhé výrobky (např. profily I, IPE, U aj.)

Pásová trať P1500 vyrábí pás z konstrukčních ocelí o tloušťkách od 1,5 do 15 mm a šířkách od 740 do 1550 mm.

Strojírny a slévárny

V oblasti strojírenské výroby závod zahrnuje výrobu strojních dílů a zařízení, ocelových konstrukcí a železničních dvojkolí. Slévárna vyrábí odlitky z oceli a litiny. Součástí závodu je také kalírna odlitků, výkovků, válcovaného materiálu a svařenců. Závod se dále zabývá dalšími výrobními, opravárenskými, údržbovými a projekčními pracemi pro samotnou firmu Liberty i pro externí zákazníky.

Závod 15 – Rourovny

je největším výrobcem trubek v České republice. Nosným výrobním programem závodu jsou bezešvé trubky válcované na dvou tratích Stiefel v provedení trubek hladkých, závitových, přírubových a olejářských. Trubky na tratích St 4-10" a St 140 jsou vyráběny pouze z plynule odlévaných předlitků. Nejnáročnějším výrobkem jsou bezešvé trubky olejářské – pažnicové, čerpací, vrtné a naftovodné. Od roku 1957 je závod oprávněn označovat olejářské trubky monogramem Amerického Petrolejářského Institutu – API.

Kromě běžných API závitů dodává závod i pažnicové a čerpací trubky s plynotěsným závitovým spojem. Z ocelového pásu válcovaného za tepla jsou v provozu „Svařovna trub“ vyráběny svařované trubky se šroubovicovým svarem jak v černém provedení, tak pro potřeby plynárenství v provedení s třívrstvou izolací PE, popř. vláknito-cementovou vnější izolací typu FZM.

1.3 Liberty Distribution Ostrava, s. r. o.

Je dceřinou společností Liberty Ostrava, a. s. Provozy společnosti byly před jejím vyčleněním součástí závodu 16 minihut' pásová. V roce 2008 došlo k vyčlenění provozů a ke vzniku společnosti ArcelorMittal Distribution Solutions, s. r. o. (AMDS CR). V roce 2019 s příchodem nového vlastníka došlo k přejmenování na Liberty Distribution Ostrava, s. r. o. (LDO).

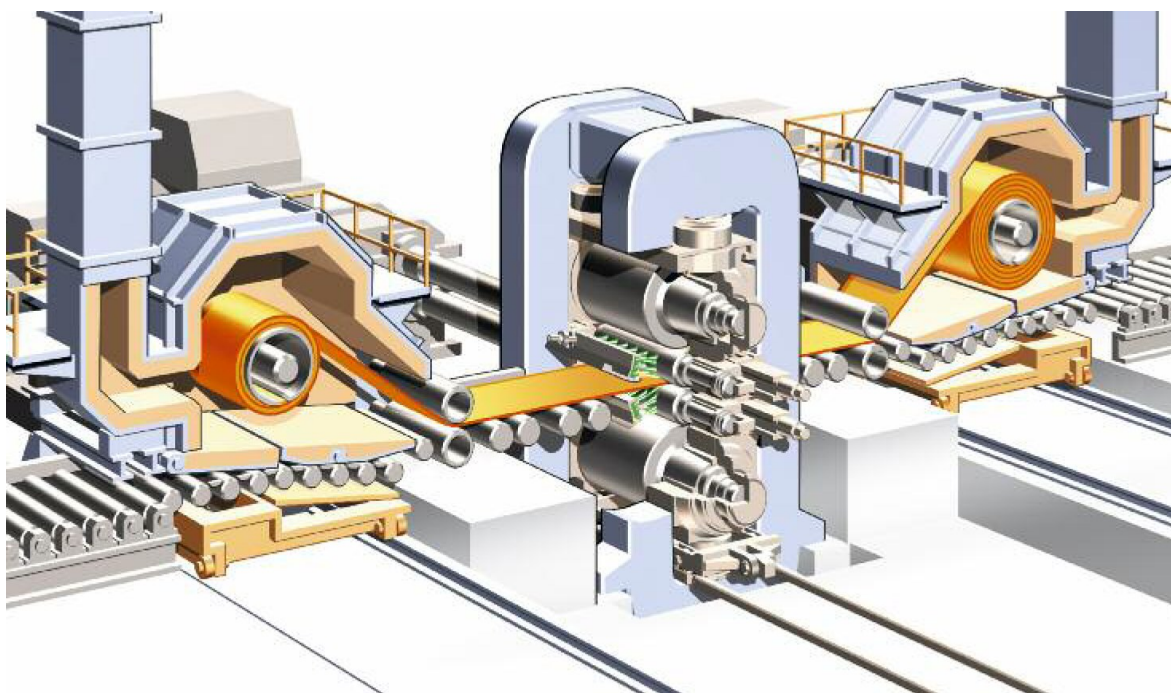
Hlavní část tvoří dělicí linky. Dvě příčně dělicí linky, které slouží k dělení ocelového za tepla válcovaného pásu na jednotlivé tabule. Jsou navrženy tak, aby mohly zpracovávat materiál v plném rozsahu rozměrových možností tratě Steckel P1500 v délkách jednotlivých plechů od 1 do 12 m. Dále jsou k dispozici 3 podélně dělicí linky, které dělí pásy z tratě Steckel na úzké pásy a navijí je zpět do svitků. Je možno vyrábět pásy o šířkách od 20 do 1500 mm. Pásy jsou určeny především pro výrobu svodidel, trubek a profilů.



Obrázek 1.1 – Svitky ocelového pásu na speciálních vozech určených pro interní dopravu materiálu mezi tratí P1500 a dělicími linkami LDO

2 Výroba ocelového pásu na válcovací trati P-1500 Steckel v Liberty Ostrava, a. s.

Válcovací trať Steckel P1500 byla uvedena do provozu v roce 1999 s plánovanou roční kapacitou výroby 1,3 milionu tun. Typickým znakem Steckelovy válcovny jsou dvě pecní navíječky, mezi nimiž je umístěna válcovací vratná kvarto stolice. Běžně se používá ve spojení s předválcovací stolicí.

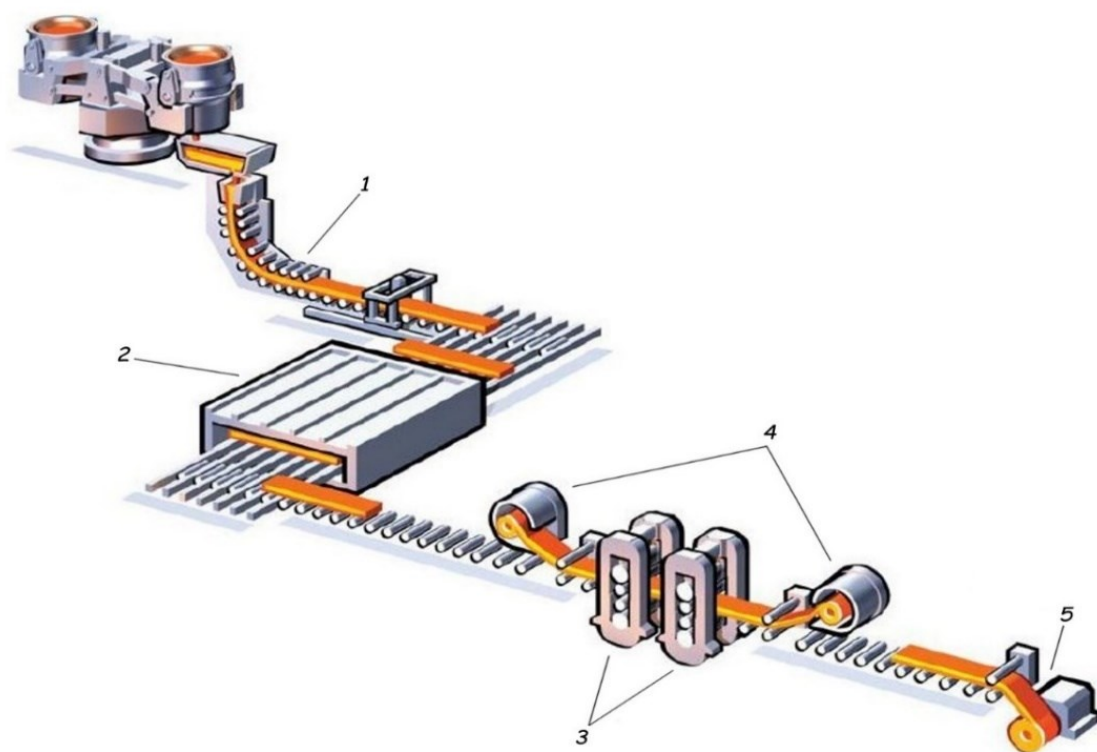


Obrázek 2.1 – Stecklova válcovna s jednou vratnou kvarto stolicí,
zdroj: http://www.sms-siemag.com/download/W4_309_E_Steckel_Mills_save.pdf

V Ostravě byla ovšem použita konfigurace se dvěma vratnými kvarto stolicemi, mezi nimiž je umístěna vertikální stolice, která slouží k přechování šířky provalku v té době to bylo jedinečné řešení a válcovna se tak stala ve světě pilotním projektem tohoto řešení. Válcovací trať P-1500 je součástí komplexu, kdy společně se zařízením plynulého odlévání (kontilití) tvoří tzv. minihut'.

Po ukončení sekundárního zpracování oceli na stanovišti pánvové pece je lící pánev s tekutou ocelí usazena do otočného lícího stojanu na zařízení plynulého odlévání a z lící pánve je ocel odlévána přes mezipánev do krystalizátoru. Na bramovém zařízení plynulého odlévání je možné odlévat ploché plynule lité předlitky šířky 740 až 1575 mm při tloušťce 150 mm.

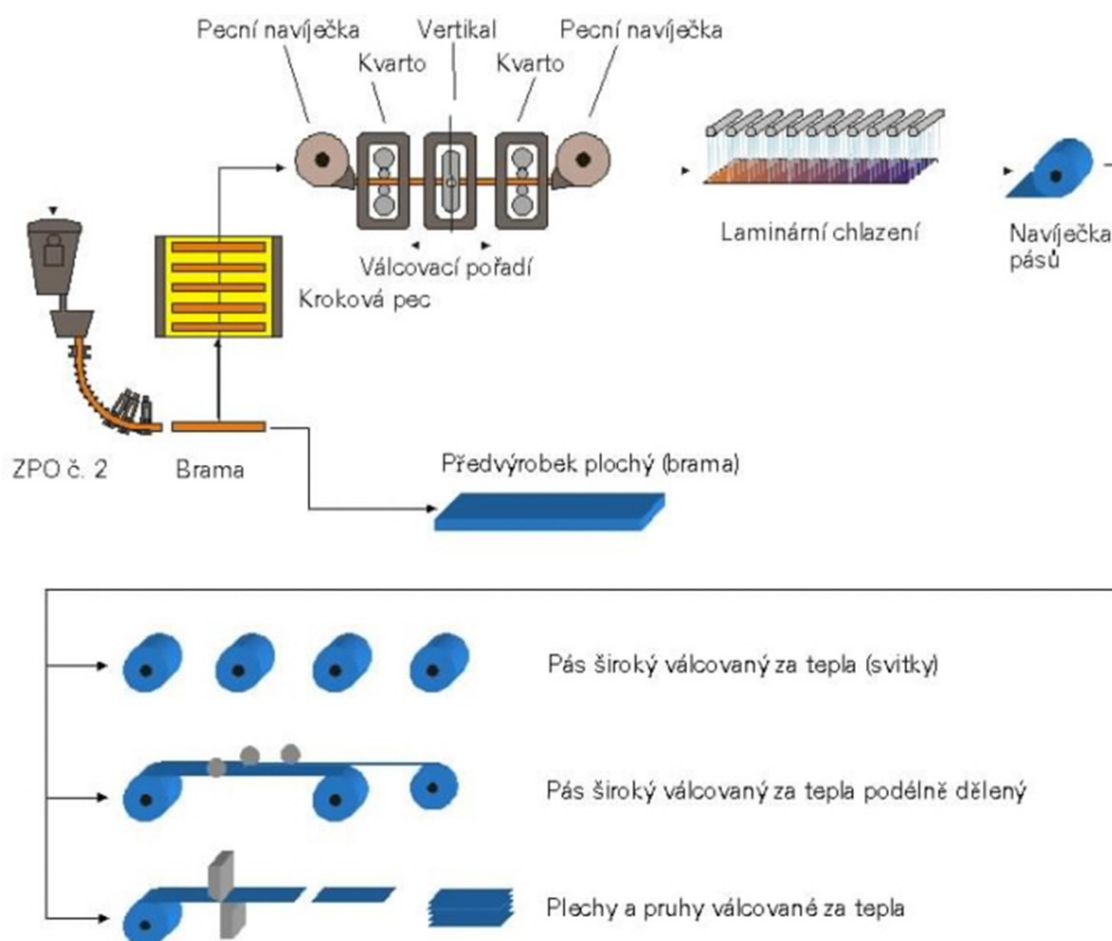
Plynule odlévaný předlitek je dělen na bramy o délkách až 18 m a poté dopraven v teplém stavu do krokové pece. Toto řešení je výhodné především z energetického hlediska, kdy jsou šetřeny náklady na dodatečný ohřev. V případě potřeby mohou být použity i studené bramy ze skladu, které mohou být z vlastní výroby, popřípadě i od externích dodavatelů.



Obrázek 2.2 – Schéma postupu výroby na trati Steckel P1500 v Liberty Ostrava,
(1 – ZPO, 2 – kroková pec, 3 – vratné kvarto stolice, 4 – pecní navíječky, 5 – koncová navíječka),
zdroj: http://www.sms-siemag.com/download/W4_309_E_Steckel_Mills_save.pdf (upraveno)

Po ohřátí bramy na válcovací teplotu, opouští brama krokovou pec a po odstranění okujů je valníkem dopravena ke stolicím. Po průchodu stolicemi, kdy je materiál současně petchován z boku vertikální stolicí, aby nedocházelo vlivem válcování ke zvětšení šířky. Když se vývalek prodlouží tak, že již po dalším průchodu by pro něj nedostačovala délka valníku, tak se pomocí sklopného zařízení nasměruje do prostoru pecní navíječky, kde se postupně navíjí. Při zpětném průchodu stolicemi se válcovaný materiál navíjí do druhé pecní navíječky. Takto materiál prochází střídavě mezi oběma navíječkami a při každém průchodu stolicemi dochází k úběru tloušťky a tím k prodloužení vývalku. Počet průchodů je závislý na požadované výsledné tloušťce pásu. Po posledním průchodu se pás přivede na výběhový dopravník, kde je chlazen pomocí vodního laminárního chlazení a poté je navíjen v koncové navíječce do svitku. Po opuštění navíječky je svitek svázan ocelovou

vázací páskou, označen a přesunut do venkovního skladu odkud je dále expedován k externím zákazníkům, nebo k dělení na dělicích linkách. Expedice probíhá především po železnici, ale také silniční dopravou.



Obrázek 2.3 – Proces výroby a zpracování ocelových pásů v Liberty Ostrava,
zdroj: <https://www.mzp.cz/ippc/ippc4.nsf/xsp/.ibmmodes/domino/OpenAttachment/ippc/ippc4.nsf/C1257B7F006E8ED5C1256E2900400566/Files/Vyj%C3%A1d%C5%99en%C3%AD%20AIP%20-%20NH%20Minihu%C5%A5.doc>

Na pásové válcovací trati Steckel P1500, se vyrábí ocelové pásy v tloušťkách od 1,5 do 15 mm a šířkách od 740 do 1535 mm. Trať je schopna vyrábět pásy nejen běžných konstrukčních ocelí, ale konstrukčních ocelí se zvýšenou pevností, uhlíkatých konstrukčních ocelí, mikrolegovaných ocelí, ocelí pro tváření za studena, ocelí se zvýšenou odolností proti atmosférické korozi, ocelí pro elektrotechnické použití a další. Pásy se mohou vyrábět s hladkým povrchem, ale také s povrchovým reliéfem (tzv. slídkový plech)

3 Rovnání

Většina ocelových polotovarů je vyráběná válcováním za tepla. Při tomto způsobu výroby může docházet k deformacím a není tak zaručena požadovaná rovinnost, takto vyrobených polotovarů. Při následném chladnutí a manipulaci může docházet k dalším deformacím. V případě ocelových pásů vzniká plánovaná deformace navíjením do svitků v podobě ohybu.

Před dalším zpracováním polotovaru je proto nutné veškeré nežádoucí deformace odstranit ať už z důvodu manipulace např. zavádění materiálu do stroje, nebo z důvodu dalších navazujících výrobních operací jako mohou být např. řezání kyslíkem, plazmou, laserem, kdy by deformovaný materiál mohl mít vliv na kvalitu výsledného koncového výrobku.

Rovnání materiálu se může provádět různými způsoby, např. ručním nářadím, rovnání plamenem, rovnání pod lisem, ale tyto metody jsou vhodné spíše pro kusovou výrobu, pro rovnání jednotlivých dílů. Při průmyslové výrobě je zapotřebí vyrovnat velké objemy materiálu, proto se pro rovnání používají speciální rovnací stroje – rovnačky.



Obrázek 3.1 – Druhy vad rovinnosti pásu,

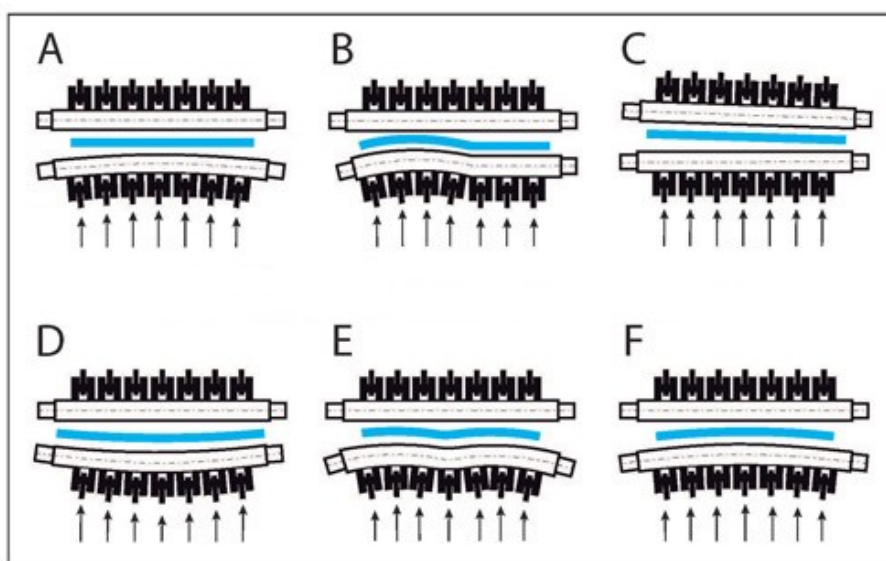
zdroj: <https://www.thefabricator.com/article/stamping/leveling-beyond-the-coil> (přepracováno)

Se zvyšujícími se nároky na kvalitu materiálu dochází i k rozšíření možností způsobů rovnání. Výrobci rovnaček dnes nabízejí stroje pro různé metody rovnání ocelových pásů. Před pořízením takového rovnacího stroje je zapotřebí vědět jaký vstupní materiál se bude zpracovávat, ať už s ohledem na jeho rozměry, mechanické vlastnosti, vstupní kvalitu a samozřejmě požadovanou výstupní kvalitu, především rovinnost nebo také zbytkové napětí v plechu.

3.1 Rovnání pomocí válečkových rovnaček

Je nejpoužívanější způsob rovnání plechu a materiálu obecně. Materiál postupně prochází sadami pracovních válců a je jimi ohýbán střídavě do obou směrů. Vstupní válce jsou přesazeny přes sebe tak, aby způsobená deformace byla větší než vstupní deformace materiálu. Každý následující válec je přesazený méně než předchozí a dochází i ke snížení deformace a zmenšení zbytkového vnitřního pnutí v materiálu. Výstupní válce jsou nastaveny tak, aby z nich vystupoval již rovný materiál.

Moderní válečkové rovnačky mají poměrně velké možnosti nastavení. Nejen základní nastavení přesazení válců, ale také náklon celé sady pracovních válců v podélném i příčném směru. Aby se zabránilo nechtěnému průhybu pracovních válců, jsou rovnačky vybaveny opěrnými válci, které jsou umístěny za pracovními válci v několika sekcích. Jednotlivé sekce opěrných válců je možné nastavovat tak, aby způsobily kontrolovaný průhyb pracovních válců. Toho se využívá k tomu, aby bylo možné nastavit různé parametry rovnání v jednotlivých místech rovnaného pásu. Výsledkem může být jemnější a přesnější vyrovnaní pásu, ale také odstranění vad rovinnosti pásu jako je např. vlnitost.



Obrázek 3.2 – Příklady náklonu a prohnutí válců,
zdroj: <https://camu.it/en/levelling/>

Průměry pracovních válců jsou voleny podle tloušťky zpracovávaného materiálu. Se snižující se tloušťkou se zmenšují i doporučené průměry pracovních válců (viz tabulka 3.1), protože k překonání meze kluzu a tím ke vzniku plastické deformace u tenkých plechů je zapotřebí menší rádius ohybu.

Povrch pracovních válců je obvykle kalen na 58–65 HRC. Opěrné válce musí mít tvrdost nižší, aby se snížilo riziko poškození, poškrábání pracovních válců.

Vzdálenost mezi válci se volí dle vzorce:

$$L = 1,1 \cdot D$$

- D – průměr pracovních válců,
- L – vzdálenost os pracovních válců.

Tabulka 3.1 – Doporučené průměry pracovních válců pro různé tloušťky materiálu, zdroj: <https://camu.it/en/levelling/>

Průměr pracovních válců [mm]	Minimální tloušťka materiálu [mm]	Maximální tloušťka materiálu [mm]
25	0,3	1,2
36	0,4	1,8
42	0,5	2,7
48	0,7	3,2
50	0,8	3,8
65	1,0	5,0
85	1,7	8,0
115	2,3	10,0
140	3,0	16,0
170	3,8	20,0
230	4,8	25,0

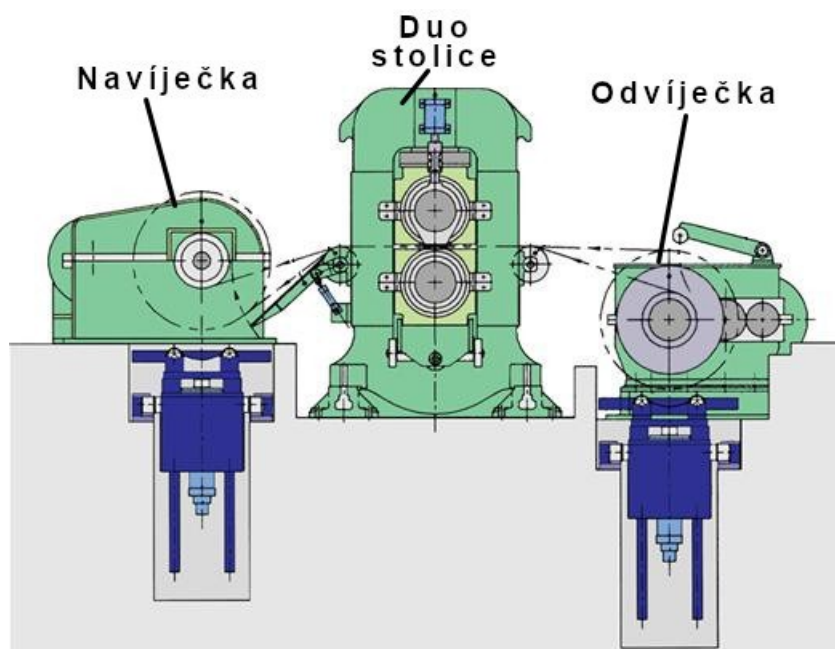
3.2 Rovnání částečným převálcováním (Skin Pass Mill)

Principiálně je tato metoda podobná válcování za studena, kdy pás je stlačován mezi pracovními válci kvarto, popřípadě duo stolice. Pás je postupně odvíjen z odvíječky prochází stolicí a poté je pás znovu navíjen navíječkou do svitku. Deformace pásu ve stolicí je podstatně menší než při válcování za studena a pohybuje se kolem 0,5–1,5 %.

Tímto způsobem je možno odstranit některé vady geometrie pásu, například vlnitost. Dále dochází k vyrovnání tloušťky pásu na stejnou úroveň, zlepšení kvality povrchu pásu snížením otlaků, nerovností, zlepšení drsnosti pásu, zlepšení mechanických vlastností, zlepšení rovinnosti u vysokopevnostních ocelí pro automobilový průmysl.

Zařízení může sloužit k přetáčení pásu svitek–svitek, nebo může součástí například příčné dělicí linky, v kombinaci s napínáním nebo jinými způsoby rovnání, může být také vybaveno také kruhovými noži pro ostříh okrajů, kartáčovací jednotkou pro mechanické odstranění okují z povrchu pásu.

Technologie se používá pro pásy tloušťky až 13 mm. V konfiguraci zařízení svitek–svitek rychlost pásu dosahuje až 600 m/min, pokud se pás v lince přímo dělí tak je rychlost pásu maximálně taková, jakou dovolují nůžky a další navazující zařízení.



Obrázek 3.3 – Schéma linky Skin Pass,
zdroj: <http://www.waterburyfarrel.com/presses-rolling-mills/rolling-mills/2-hi-mill>

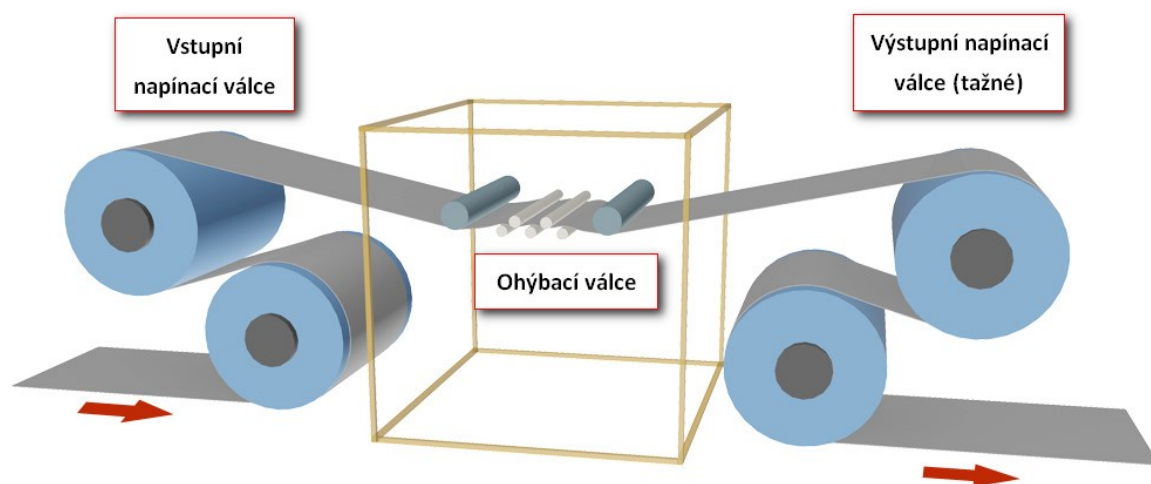
3.3 Rovnačka kombinující napnutí a ohyb (Tension levelling)

Rovnačky využívající tento způsob rovnání se používají především pro rovnání tenkých pásů. Tyto rovnačky se skládají z napínacího zařízení a rovnacích válců.



Obrázek 3.4 – Rovnačka kombinující ohyb a napnutí pásu,
zdroj: <https://eaglecnc.en.made-in-china.com/productimage/CvSQApMFXnUh-2f1j00LZgTmiDIHupK/China-Tension-Leveler-ETL-Series.html>

Napínací zařízení je tvořeno vstupními a výstupními napínacími válci. Poměrně velké průměry napínacích válců jsou důležité, aby bylo dosaženo velké stykové plochy mezi zpracovávaným materiálem a napínacími válci a tím ke vzniku vláknového tření. Dalším důvodem velkého průměru napínacích válců je, aby nedocházelo k plastické deformaci pásu při ohybu pásu přes válec.



Obrázek 3.5 – Princip rovnačky kombinující napnutí a ohyb pásu,
zdroj: <https://www.epsprocess.com/general/eps-tension-leveling/> (upraveno)



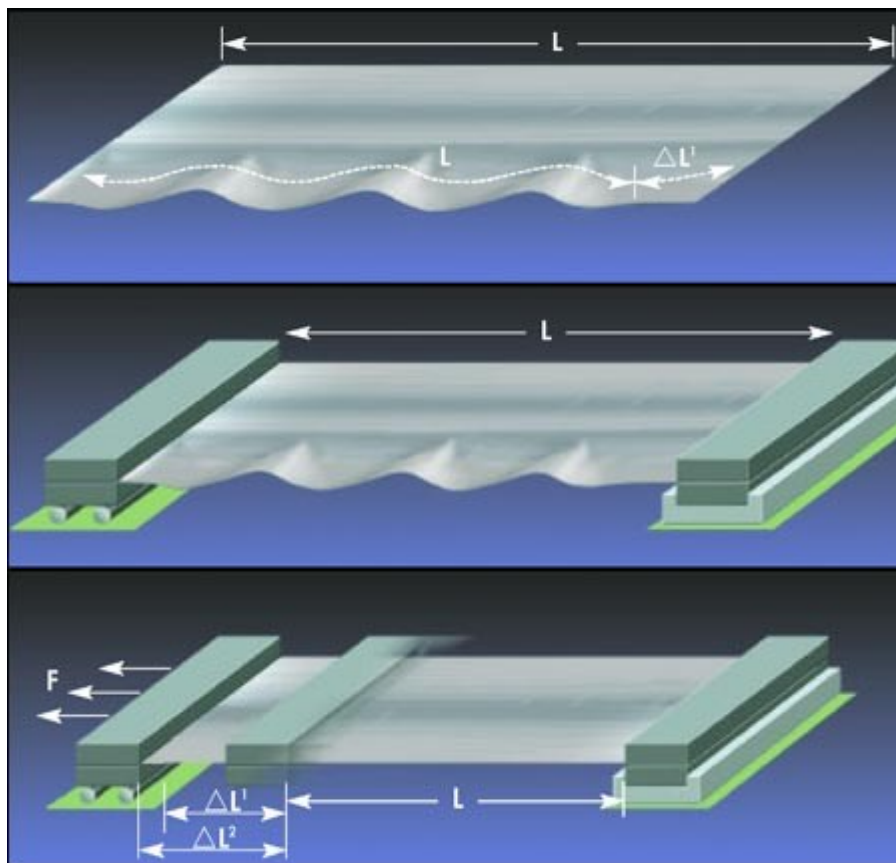
Obrázek 3.6 – Stolice s rovnacími válci,
zdroj: http://taylorsteel.com/products_and_services/tension_leveling.html

Stolice s ohýbacími válci je tvořena střídavě umístěnými pracovními válci a opěrnými válci, které zabráňují prohnutí pracovních válců. Mezi horní a spodní sadou pracovních válců prochází rovnaný pás. Při průchodu je pás střídavě ohýbám do dvou směrů. Kombinací ohybu a tahu dochází k postupnému prodloužení pásu, což způsobí natažení vláken srovnání jejich délek po celé šířce pásu a tím odstranění vad geometrie pásu, především vlnitosti a také dochází ke snížení vnitřního pnutí v pásu.

Protože v rovnací stolici dochází k prodloužení pásu, tak výstupní napínací válec musí mít vyšší obvodovou rychlost než vstupní napínací válec. Otáčky výstupních válců se musí přizpůsobovat prodloužení pásu tak, aby byl v pásu stále udržován požadovaný konstantní tah a tím byl zajištěn kontinuální proces rovnání.

3.4 Rovnání natažením (Stretch levelling)

Rovnání natahováním je v současné době nejefektivnějším způsobem rovnání pásů. Využívá se nejen pro běžné konstrukční oceli, ale úspěšně se používá například také na korozivzdornou ocel, uhlíkovou ocel, titan, niklové slitiny, mosaz, měď, hliník.



Obrázek 3.7 – Ukázka jednostranné vlnitosti a procesu rovnání tahem
zdroj: <https://leveltek.com/metals-and-defects/>

Princip rovnání je poměrně jednoduchý – rovnaná část pásu se upne mezi dva úchopy, z čehož jeden je pevný a druhý pohyblivý. Takto upnutá část pásu se pomocí hydraulických válců začne napínat a postupně natahovat. Materiál se napíná až za hranici meze kluzu, čímž vzniká plastická deformace. Oproti válečkovým rovnačkám, kde k plastické deformaci dochází jen v okrajových vrstvách a ve středu tloušťky kolem neutrální oblasti dochází pouze k elastické deformaci tak při rovnání natažením dochází k překročení meze kluzu a tím k plastické deformaci v celém průřezu pásu, čímž je minimalizováno zbytkové vnitřní pnutí v materiálu. Díky této metodě je možno zákazníkům garantovat plechy s minimem vnitřního pnutí.

Tahový způsob rovnání dokáže odstranit většinu vad geometrie pásu. Mezi tyto vady patří nedodržení přímosti hran (tzv. šavovitost), která může mít také vliv na pravoúhlost hran, dále podélné prohnutí pásu, a především nejrozšířenější a nejzávažnější vada jakou je nedodržení rovinnosti z důvodu vlnitosti pásu. Tahovým rovnáním nelze odstranit příčné prohnutí pásu (viz obrázek 3.1). Pro odstranění tohoto prohnutí by se musel pás natahovat ve směru kolmém na směr válcování. Proto před samotnou tahovou rovnačkou je proto vždy zařazena válečková rovnačka, která tento defekt dokáže odstranit.



Obrázek 3.8 – Tahová rovnačka,
zdroj: <https://twitter.com/DeltaSteelTech/status/1250064392349192200>

Samotné zařízení pracuje na poměrně jednoduchém principu, a proto je snadnější i nastavení parametrů pro rovnání v porovnání například s válečkovou rovnačkou. Je potřeba do řídicího systému zadat rozměry a mechanické vlastnosti rovnaného materiálu a systém z těchto hodnot automaticky nastaví sílu potřebnou k natažení materiálu za mez kluzu. Výhodou je také to, že lze okamžitě po natažení a následném uvolnění vyhodnotit, zda došlo k odstranění všech defektů na pásu a pokud ne tak je možné rovnání opakovat s vhodnějšími parametry. Jednoduchý princip rovnání a nastavení je výhodný i z hlediska nároků na obsluhu a délku zaškolování, protože zde není výsledný efekt rovnání v takové míře závislý na zkušenostech operátora jako například u válečkových rovnaček. Pomocí toho způsobu rovnání je možné zpracovat i materiál, který by běžně skončil jako šrot. Tahové rovnačky jsou nejčastěji zařazovány přímo do příčné dělicích linek. Maximální zpracovávaná tloušťka a šířka pásu je závislá na robustnosti konstrukce a nejvyšším možném tlaku při natahování. Běžně se tento typ rovnačky dodává až do tloušťky pásu 25 mm.

4 Testovaný materiál

Na příčně dělicí lince se zpracovává materiál vyrobený na válcovací trati Steckel P1500 dodávaný ve svitcích, v tloušťkách 1,5–15 mm, šířky 600–1500 mm a maximální hmotnosti 34 t. Nejčastěji zpracovávané materiály jsou běžné konstrukční oceli S235JR, S355JR, termomechanicky válcované oceli s vyšší mezí kluzu pro tváření za studena S355MC, S460MC, hlubokotažné oceli DD11, uhlíková ocel C45E nebo oceli pro tlakové nádoby P265GH.

Největší podíl na výrobě, přes 60 %, má konstrukční ocel jakosti S235, nejčastěji v provedení JR+AR, JRC, JR+N. Mechanické vlastnosti této oceli jsou velmi vhodné pro navržený způsob rovnání. Z těchto důvodů byla pro testování vlivu rovnání na vlastnosti výsledného pásu vybrána právě tato ocel.

4.1 Charakteristika oceli S235JR

Nelegovaná jakostní konstrukční ocel se zaručenou svařitelností vhodná pro ocelové konstrukce vystavené statickému a mírnému dynamickému namáhání, tlaková zařízení s teplotou do 300 °C, skříně a vtokové soustavy vodních turbín, mosty, jeřáby, součástí dopravních prostředků, konstrukce železničních vozů.

Norma oceli	ČSN EN 10025
Značení dle ČSN EN 10027–1:	S235JR
Číslo materiálu dle ČSN EN 10025–2	1.0038
Značení dle ČSN 42 0002:	11 375

Ocel určená pro tváření za studena musí být označena písmenem C (S235JRC). To se týká i tažení za studena.

Tabulka 4.1 – Chemické složení oceli S235JR

Chemické složení oceli S235JR pro výrobky tloušťky $t \leq 16$ v hm. %				
C max.	Mn max.	P max.	S max.	N max.
0,19	1,50	0,045	0,045	0,014

Mechanické vlastnosti

Mez kluzu R_e : min. 235 MPa

Mez pevnosti v tahu R_m : 360–510 MPa

Tažnost $A_{5,65}$: min. 26 %

4.2 Požadavky na kvalitu plechů

Úchylky rozměrů zpracovávaného materiálu na příčně dělicí lince se řídí normou ČSN EN 10051 (42 0034): Kontinuálně za tepla válcované pásy a plechy stříhané z širokého pásu nelegovaných a legovaných ocelí, nebo dle požadavků zákazníka uvedených v kupní smlouvě. Pro provádění testů jsou důležité především úchylky rovinnosti, tloušťky a šířky polotovaru.

4.2.1 Tloušťka plechu

Měří se v libovolném bodě ve vzdálenosti větší než 40 mm od hrany výrobku s přírodními hranami a nejméně 25 mm od hrany pásu se stříhanými hranami.

Vypuklost je určena jako rozdíl mezi tloušťkou na podélné ose pásu a místem vzdáleným 40 mm od kterékoliv hrany pásu s přírodními hranami a nejméně 25 mm od hrany pásu se stříhanými hranami.

Nestejnoměrnost tloušťky v jednom svitku se měří na přímce, která má stálou vzdálenost od podélné hrany pásu.

Tabulka 4.2 – Mezní úchylky tloušťky plechu a pásů z oceli se stanovenou minimální mezí kluzu $R_e \leq 300$ MPa (třída A) dle ČSN EN 10051

Jmenovitá tloušťka t [mm]	Mezní úchylky při jmenovité šířce w [mm]			
	$w \leq 1\,220$	$1\,220 < w \leq 1\,500$	$1\,500 < w \leq 1\,800$	$w > 1\,800$
$t \leq 2,00$	$\pm 0,17$	$\pm 0,19$	$\pm 0,21$	–
$2,00 < t \leq 2,50$	$\pm 0,18$	$\pm 0,21$	$\pm 0,23$	$\pm 0,25$
$2,50 < t \leq 3,00$	$\pm 0,20$	$\pm 0,22$	$\pm 0,24$	$\pm 0,26$
$3,00 < t \leq 4,00$	$\pm 0,22$	$\pm 0,24$	$\pm 0,26$	$\pm 0,27$
$4,00 < t \leq 5,00$	$\pm 0,24$	$\pm 0,26$	$\pm 0,28$	$\pm 0,29$
$5,00 < t \leq 6,00$	$\pm 0,26$	$\pm 0,28$	$\pm 0,30$	$\pm 0,31$
$6,00 < t \leq 8,00$	$\pm 0,29$	$\pm 0,30$	$\pm 0,31$	$\pm 0,35$
$8,00 < t \leq 10,00$	$\pm 0,32$	$\pm 0,33$	$\pm 0,34$	$\pm 0,40$
$10,00 < t \leq 12,50$	$\pm 0,35$	$\pm 0,36$	$\pm 0,37$	$\pm 0,43$
$12,50 < t \leq 15,00$	$\pm 0,37$	$\pm 0,38$	$\pm 0,40$	$\pm 0,46$
$15,00 < t \leq 25,00$	$\pm 0,40$	$\pm 0,42$	$\pm 0,45$	$\pm 0,50$

4.2.2 Šířka plechu

Šířka plechu s přírodní hranou je dána již při samotném válcování, šířka plechu s ostříženými hranami je ovlivněna nastavením vzdálenosti kruhových nožů, které stříhají okraj pásu na předepsanou šířku.

Šířka tabule plechu se kontroluje měřidlem s přesností ± 1 mm. Šířka musí být měřena kolmo k podélné ose plechu

Tabulka 4.3 – Mezní úchytky šířky tabulí plechu dle ČSN EN 10051

Jmenovitá šířka w	Mezní úchytky [mm]			
	Přírodní hrany		Stříhané hrany	
	Dolní	Horní	Dolní	Horní
$w \leq 1\,200$	0	+20	0	+3
$1\,200 < w \leq 1\,850$	0	+20	0	+5
$w > 1\,850$	0	+25	0	+6

4.2.3 Délka

Délkou plechu se rozumí ta délka, která je kratší při měření obou podélných stran. Délka plechu se kontroluje měřidlem s přesností ± 1 mm.

Tabulka 4.4 – Mezní úchytky délky tabulí plechu dle ČSN EN 10051

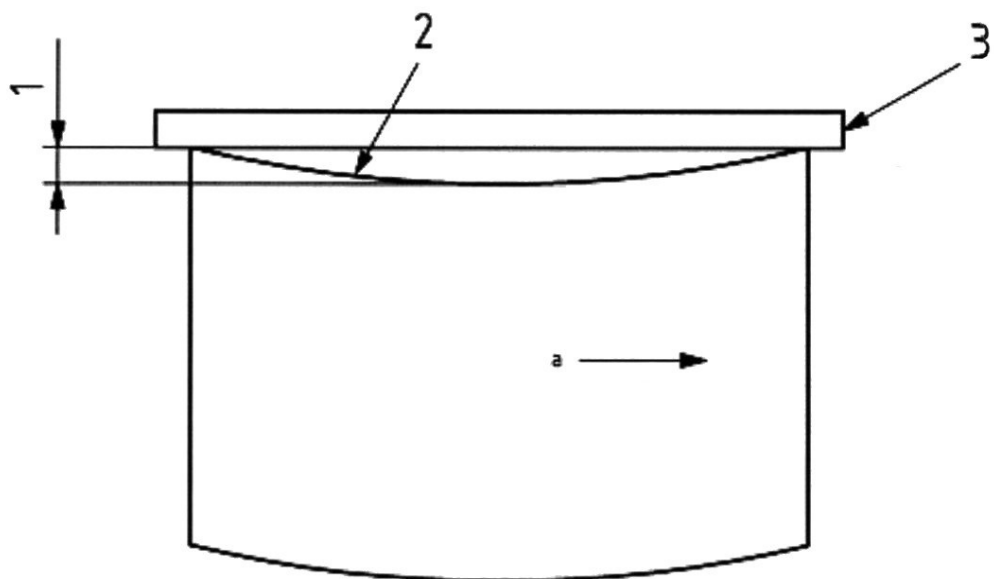
Jmenovitá délka l	Mezní úchytky [mm]	
	Dolní	Horní
$l < 2\,000$	0	+10
$2\,000 \leq l \leq 8\,000$	0	$+0,005 \times l$
$l \geq 8\,000$	0	+40

4.2.4 Přímost hran

Úchylka přímosti hran je největší úchylka mezi podélnou hranou a přímkou procházející oběma konci měřené délky. Přímost se měří na vydaté straně.

U plechů délky $l < 5\,000$ mm je měřenou délkou délka výrobku a nesmí překročit 0,5 % skutečné délky plechu.

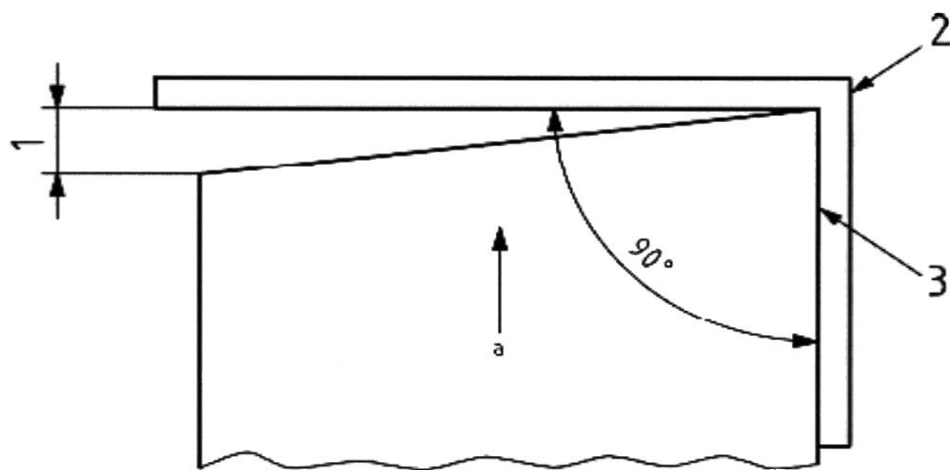
U pásů a plechů se jmenovitou délkou $l \geq 5\,000$ mm je měřená délka 5 000 mm na libovolném místě hrany výrobku. U plechů se jmenovitou délkou $l \geq 5\,000$ mm a šířkou $w \geq 600$ mm nesmí úchylka přímosti hran překročit 20 mm kdekoli na měřené délce 5 000 mm u plechů s přírodními hranami a 15 mm u plechů s ostříženými hranami.



Obrázek 4.1 – Způsob měření přímosti pásu,
(1 – úchylka přímosti hrany, 2 – podélná hrana (vydutá strana), 3 – pravítko, a – směr válcování)

4.2.5 Pravoúhlost

Úchylka pravoúhlosti u je pro plech kolmý průmět příčné hrany na podélnou hranu, nesmí překročit 1,0 % skutečné šířky plechu.



Obrázek 4.2 – Způsob měření pravoúhlosti plechů,
(1 – úchylka pravoúhlosti, 2 – úhelník, 3 – podélná hrana, a – směr válcování)

4.2.6 Rovinnost

Úchylka rovinnosti se stanoví měřením vzdálenosti mezi výrobkem a rovnou vodorovnou plochou, na které výrobek leží.

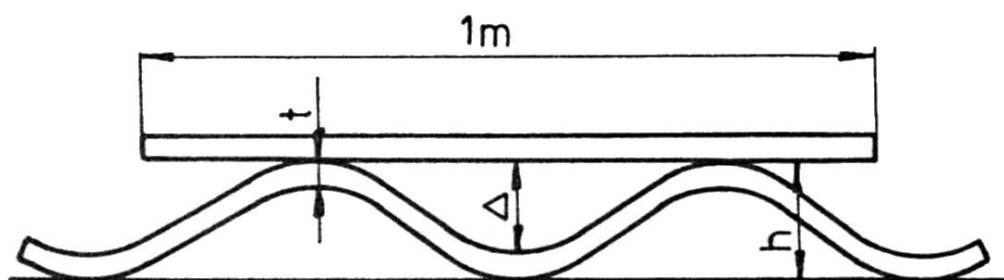
Tabulka 4.5 – Úchylky rovinnosti pro oceli se stanovenou minimální mezí kluzu $R_e \leq 300$ MPa

Jmenovitá tloušťka t	Jmenovitá šířka w	Úchylky rovinnosti	Zúžené úchylky rovinnosti
$t \leq 2$	$w \leq 1\,200$	18	9
	$1\,200 < w \leq 1\,500$	20	10
	$w > 1\,500$	25	13
$2 < t \leq 25$	$w \leq 1\,200$	15	8
	$1\,200 < w \leq 1\,500$	18	9
	$w > 1\,500$	23	12

Tabulka 4.6 – Úchylky rovinnosti pro oceli se stanovenou minimální mezí kluzu $300 < R_e \leq 420$ MPa

Jmenovitá tloušťka t	Jmenovitá šířka w	Úchylky rovinnosti	
		$300 < R_e \leq 360$ MPa	$360 < R_e \leq 420$ MPa
$t \leq 25$	$w \leq 1\,200$	18	23
	$1\,200 < w \leq 1\,500$	23	30
	$w > 1\,500$	28	38

Pro oceli se stanovenou minimální mezí kluzu $420 < R_e \leq 900$ MPa musí být úchylky rovinnosti dohodnuty při objednání.



Obrázek 4.3 – Způsob měření rovinnosti dle ČSN EN 10051

Nedodržení rovinnosti patří k nejčastějším vadám vyskytujících se při výrobě pásů a plechů. Především zvlnění hran pásu je velkým problémem. Měření se provádí na konečném výrobku což bývá plech, nebo pás. Vlnitost je způsobena rozdílem v délce vláken materiálu v různých místech šířky pásu. V tabulce 4.7 je jasně patrný vliv délky vlny na rozdíly mezi rovnou a zvlněnou částí pásu při stejné výšce vlny.



Obrázek 4.4 – Jednostranně zvlněná hrana pásu

V normě ČSN EN 10051 není přesně definována délka vlny, ale pouze její výška. Může tak nastat situace, kdy například při výšce vlny 40 mm je rozdíl rovné a zvlněné strany pásu menší, než při výšce vlny 20 mm.

Tabulka 4.7 – Rozdíly délek rovné a zvlněné hrany pásu

		Délka vlny (mm)						
		1000	1200	1400	1600	1800	2000	2500
Výška vlny (mm)	5	0,08	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01
	10	0,31	0,22	0,16	0,12	0,10	0,08	0,05
	15	0,71	0,49	0,36	0,28	0,22	0,18	0,11
	20	1,26	0,87	0,64	0,49	0,39	0,31	0,20
	30	2,83	1,96	1,44	1,10	0,87	0,71	0,45
	40	5,03	3,49	2,56	1,96	1,55	1,26	0,80
	50	7,85	5,45	4,01	3,07	2,42	1,96	1,26
	60	11,31	7,85	5,77	4,42	3,49	2,83	1,81
	80	20,11	13,96	10,26	7,85	6,21	5,03	3,22
	100	31,42	21,82	16,03	12,27	9,70	7,85	5,03

4.2.7 Povrchové vady

Kontrola povrchu se provádí vizuálně. Plechy nesmí mít na povrchu šupiny, puchýře, pleny, trhliny nebo škrábance, které nepříznivě ovlivňují jejich použití. Nejčastějšími vadami jsou otlaky, vyvýšeniny, rýhy, zaválcované okraje.

- a) Otlaky – jsou to důlky různých tvarů, velikostí a hloubek. Pokud je vada na pásu pravidelně se opakující tak mohla vzniknout při válcování i při zpracování na dělicích linkách cizím předmětem nalepeným na pracovních válcích, popř. na některém z přítlačných válečků, který je vtlačován do pásu. Změřením vzdálenosti mezi opakujícími se vadami je možno zjistit průměr válce, který tyto vady způsobil.
- b) Vyvýšeniny – výstupky různých velikostí a tvarů vystupující nad plochu povrchu materiálu. Nejčastější příčinou je prohlubeň v pracovním válci válcovací stolice, která se při válcování obtiskuje do povrchu materiálu.
- c) Rýhy – jsou to vrypy v materiálu zpravidla v podélném směru. Nejčastější příčinou jsou poškozené nebo uvolněné části výrobního zařízení, které za chodu mechanicky poškozují pás. Vada může vznikat při výrobě na válcovací trati nebo také při zpracování na dělicí lince. Rýhy vzniklé při zpracování na dělicích linkách mají kovově lesklý povrch. Pokud rýha vznikla již při válcování tak její povrch je matný díky zoxidované vrstvě.
- d) Zaválcované okraje – tato vada vzniká nedostatečným odstraněním okrajů při válcování. Okraje jsou při válcování vtlačeny do povrchu materiálu. Na dělicích linkách se tato vada zřetelně projeví při průchodu materiálu rovnačkou, kdy při ohybu dojde k rozrušení vrstvy a jejich částečnému odstranění. Po odstraněných okrajích zůstávají v povrchu materiálu prohlubně.

Pokud se povrchová vada opakuje je vždy zapotřebí zjistit zdroj této vady. Při kontrole na dělicí lince je zapotřebí zjistit, zda se daná vada vyskytuje již na vstupním materiálu nebo vzniká až v průběhu zpracování. Vady povrchu se nejvíce projeví po moření. Mořením se odstraňuje vrstva oxidu železa (okraje) z povrchu materiálu. Nejčastěji se moření provádí v kyselině chlorovodíkové (HCl) a v menší míře v kyselině sírové (H₂SO₄).

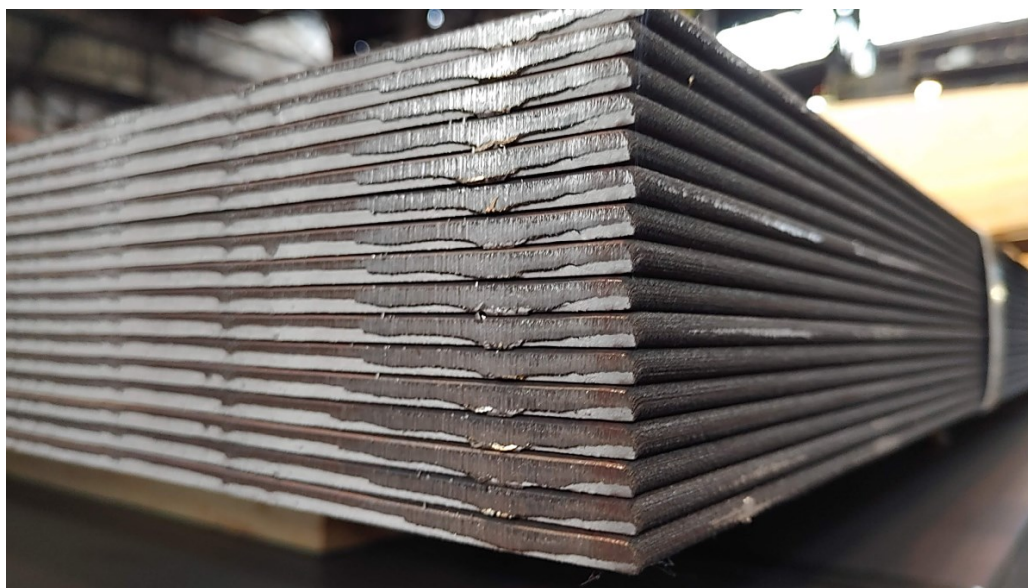
4.2.8 Vadné hrany

Vadné hrany se mohou vyskytovat u vstupních svitků s přírodní hranou, dělených svitků a také u jednotlivých střížených plechů. Vadami vzniklými při válcování mohou být například spálené hrany nebo trhliny. Mezi nejčastější vady patří poškození hran při manipulaci s materiálem. Při manipulaci s materiálem může vznikat mechanické poškození hran od manipulační techniky, jako jsou vrypy do hran přes několik závitů u svitků a v případě balíků mohou být tyto vrypy do hran často přes několik plechů. V případě vysunutého závitu ze svitku (teleskopičnost) nebo vysunutého plechu z balíku může dojít k ohnutí hrany případně až roztržení hrany.



Obrázek 4.5 – Mechanicky poškozená hrana plechu

U materiálu s ostříženými hranami se sleduje kvalita stříhu, která závisí na opotřebení střížných hran nožů, nastavení střížné mezery, popřípadě přesazení hran nožů u kruhových nůžek. Střížená hrana musí mít minimální otřep, v místě odtržení musí být plocha čistá bez výrazných výstupků, zatrženin, nejsou přípustné dvojité stříhy.



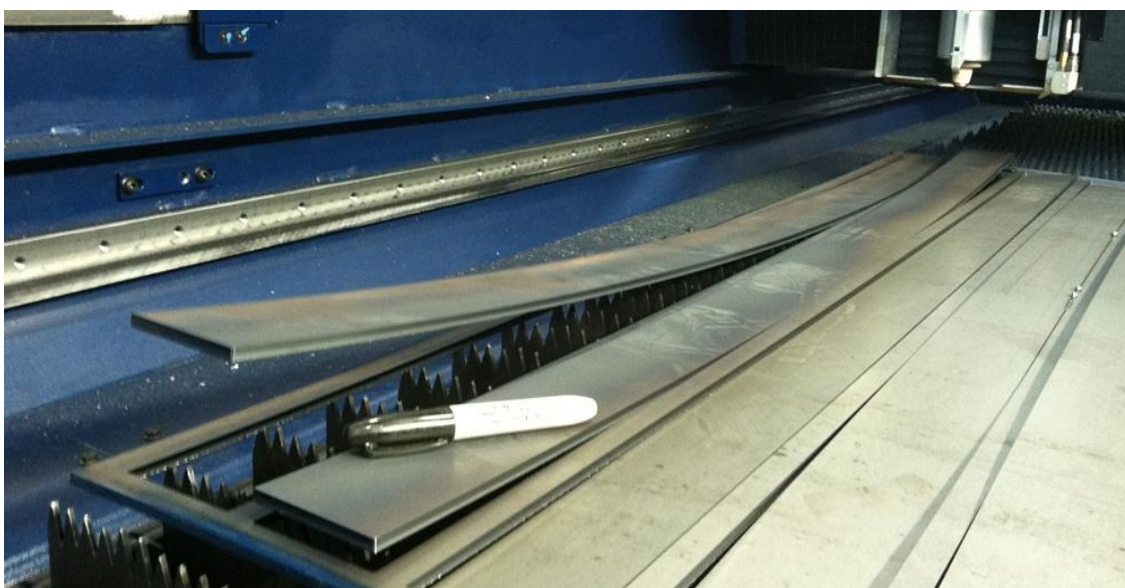
Obrázek 4.6 – Nekvalitní stříh způsobený, špatně nastavenou střížnou mezerou, nebo otupenými noži

4.2.9 Vnitřní pnutí

Zákazníci v čím dál větší míře požadují tabule plechu bez vnitřního pnutí. Vnitřní pnutí ve válcovaném materiálu je jeho přirozenou vlastností a vzniká již při válcování a následném chladnutí. Běžné válečkové rovnačky dokáží toto napětí částečně snížit a vyrovnat, ale nedokáží jej se zárukou zcela eliminovat. Problémem je také detekce tohoto vnitřního pnutí, kdy není možné efektivně kontrolovat vnitřní pnutí v každém plechu. Proto při požadavcích na absenci vnitřního pnutí v materiálu je vhodnější používat technologie rovnání, které garantují odstranění vnitřního pnutí než se zabývat komplikovanou detekcí.

Vnitřní pnutí nelze na běžné tabuli plechu vidět, a i když je tento polotovar zcela rovný, tak se vnitřní pnutí projeví při jeho následném zpracování, kdy po odebrání části materiálu (vystřížením, řezáním kyslíkem, řezáním plazmou, řezáním laserem apod.) dojde k uvolnění napětí a následné deformaci výpalku, výstřižku, popřípadě zbylé části tabule plechu.

Rostoucí požadavky na plechy se zvyšují hlavně díky většímu rozšiřování moderních technologií, především laserového dělení. Hlava stroje pro laserové dělení se při dělení materiálu nachází v jeho těsné blízkosti a musí být udržována konstantní vzdálenost, aby byl paprsek stále zaostřen na povrch děleného materiálu. V případě, kdy se začne uvolňovat vnitřní napětí, může se materiál deformovat, prohýbat což může mít za následek zhoršení kvality řezu. V horším případě může dojít k rychlému vymrštění materiálu a poškození nebo zničení hlavy laseru. Kromě škod na zařízení dochází k prostojům stroje, znehodnocení materiálu a také následným nákladům na další rovnání vyřezaných částí.



Obrázek 4.7 – Prohnutí dílu vzniklé uvolněním vnitřního napětí během laserového řezání,
zdroj: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/lasercutting/laser-cutting-on-the-level>

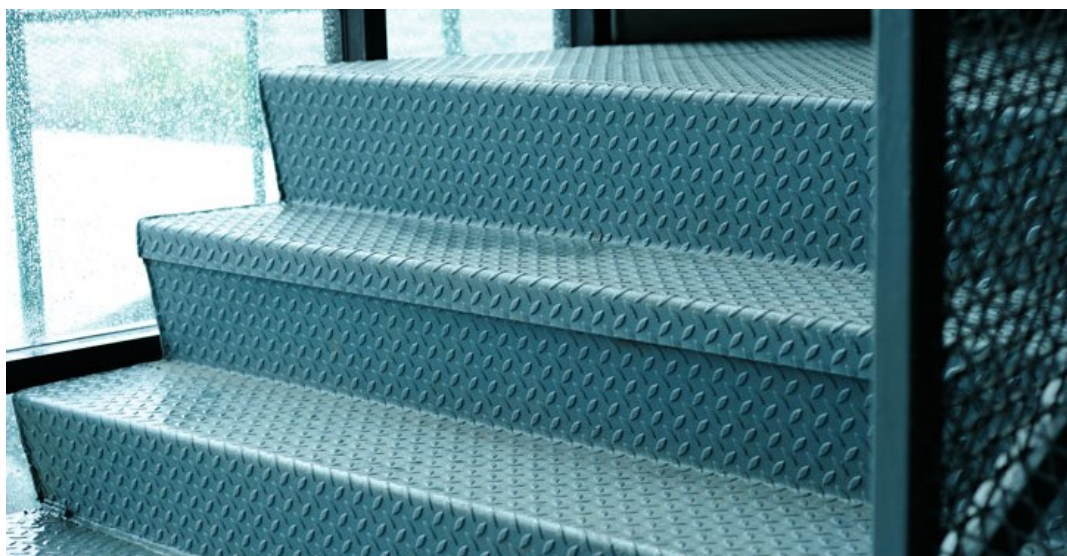
4.2.10 Způsoby využití plechů

Při příčném dělení ocelového pásu vznikají jednotlivé tabule plechu. Nejčastěji bývají ve standardních rozměrech 1000x2000, 1250x2500 a 1500x3000, popřípadě v rozměrech podle požadavků daných zákazníkem, které jsou v technických možnostech výrobního zařízení. Tyto plechy mají široký způsob využití, nejčastěji pro výrobu ocelových konstrukcí, pro řezání dílů kyslíkem, plazmou nebo laserem, pro výrobu tlakových nádob, k výrobě součástí strojů atd.



Obrázek 4.8 – řezání ocelového plechu plazmou, zdroj: <https://www.feprodukt.cz/cnc-paleni-plechu>

Plech s povrchovým reliéfem (slzičkový, rýhovaný...) se používají nejčastěji na výrobu plošin, pochůzkových lávek, schodů, krytů kanálů a všude tam kde je zapotřebí protiskluzová úprava povrchu.



Obrázek 4.9 – Schody s protiskluzovou úpravou z ocelového slzičkového plechu, zdroj: <https://www.alliedsteel.com/steel-products-steel-fabrication-allied-steel-nj-ny-services-faqs-frequently-asked-questions.php>

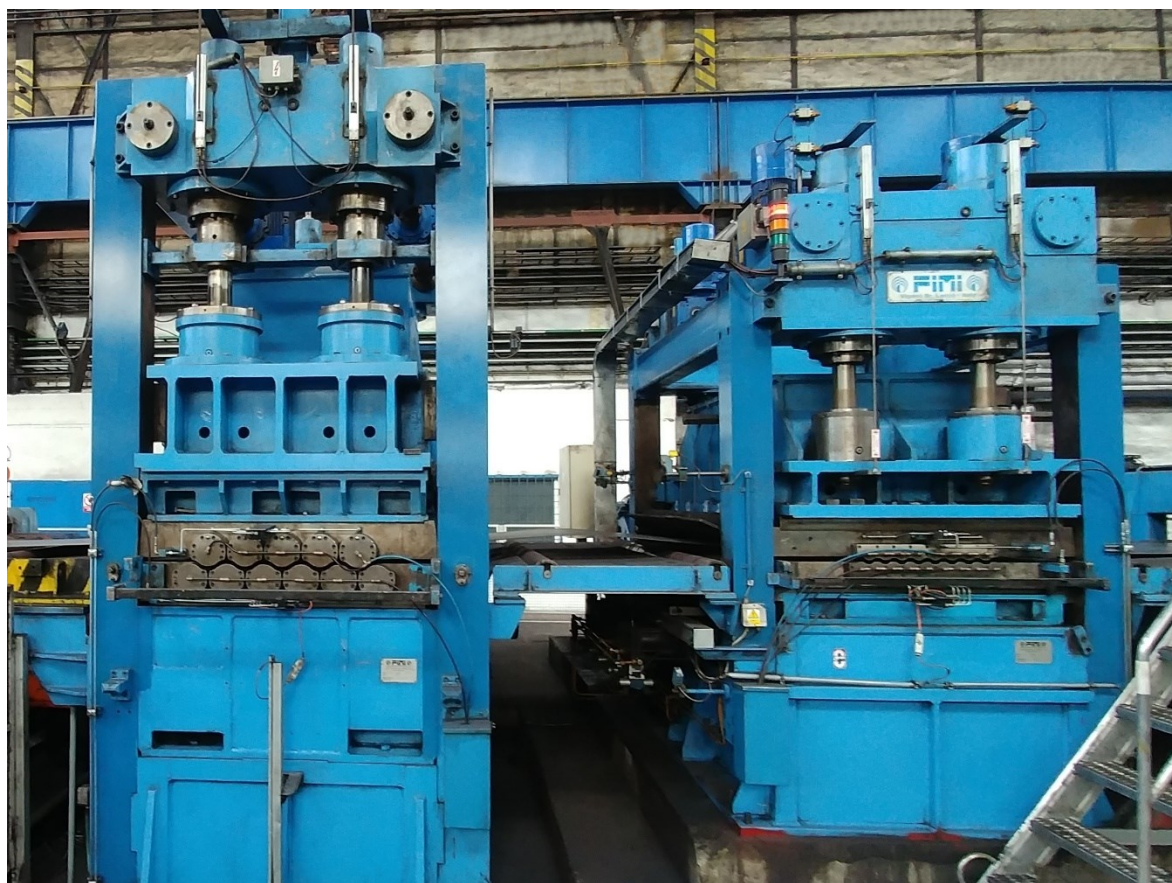
5 Experimentální část

5.1 Popis testovaných způsobů rovnání

Rovnění a dělení pásů bylo prováděno na příčně dělicí lince FIMI. Linka je vybavena dvěma válečkovými rovnačkami pro rovnání ocelového pásu. Materiál je dodáván ve svitcích, které jsou navíjeny za tepla, proto po rozvinutí je pás stále prohnutý a je jej zapotřebí před vstupem do rovnaček napřímit, aby se mohl pohybovat po válečkových dopravnících. Toto napřímení se provádí pomocí tzv. předrovnačky. Oproti rovnačkám má podstatně menší počet válců (min. 4) a větší průměry.

Rovnačka 1 má 11 pracovních válců průměru 130 mm. Rovnačka se používá pro rovnání pásů od tloušťky 5 mm až do maximální tloušťky pásu, které je možné na lince zpracovávat což je tloušťka 13 mm.

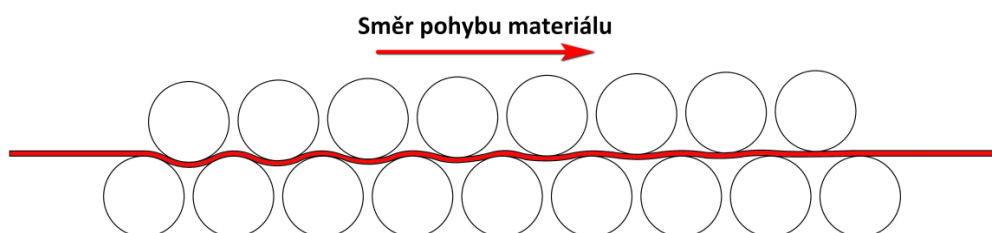
Rovnačka 2 má 17 pracovních válců průměru 63 mm, proto je vhodná pro rovnání materiálů do tloušťky 5 mm. Nejmenší tloušťka zpracovávaná na lince je 1,5 mm.



Obrázek 5.1 – 11 a 17válečková rovnačka ocelových pásů

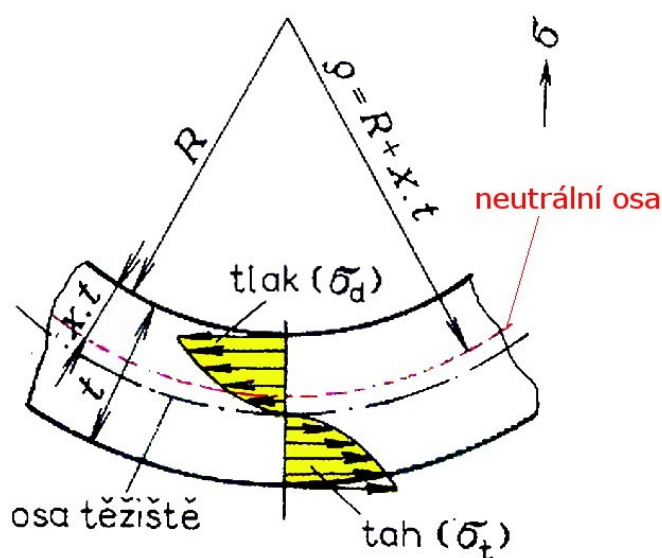
5.1.1 Rovnání jednou rovnačkou bez přidaného tahu

Volba rovnačky, způsobu jejího použití a nastavení používaného při zpracování je závislá především na tloušťce pásu, jakosti a s tím souvisejícími mechanickými vlastnostmi a také na kvalitě vstupního materiálu především na míře vlnitosti. V případech, kdy je výška vlny minimální nebo se vlnitost vůbec nevyskytuje, používají se rovnačky běžným způsobem, kdy je použita pouze jedna rovnačka a válce jsou nastaveny tak, že vstupní válce jsou více přesazeny přes a postupně směrem k výstupu se přesazení snižuje. Materiál je otáčením válců posouván vpřed a při průchodu mezi horními a spodními válci je střídavě ohýbán po celé šířce do obou směrů čímž jsou postupně vyrovnávány nerovnosti pásu.



Obrázek 5.2 – Schéma rovnaní materiálu válečkovou rovnačkou

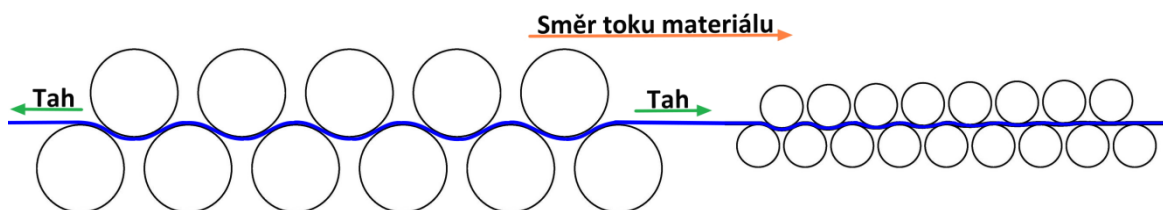
Při ohybu je materiál na vnitřní straně stlačován a vznikají tlaková napětí, naopak na vnější straně dochází k prodloužení čímž dochází ke vzniku tahových napětí. Při překročení napětí meze kluzu R_e dochází k plastické deformaci materiálu. Největší napětí jsou na povrchu pásu a postupně se snižují s klesající vzdáleností od středu tloušťky pásu. Ve středu tloušťky pásu se nachází neutrální pásma, ve kterém nedochází ke změně délky vláken materiálu. Tento způsob rovnaní byl použit při testování rovnaní pásu pomocí jedné rovnačky bez přidaného tahu.



Obrázek 5.3 – Napětí v materiálu při ohybu,
zdroj: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/07.htm

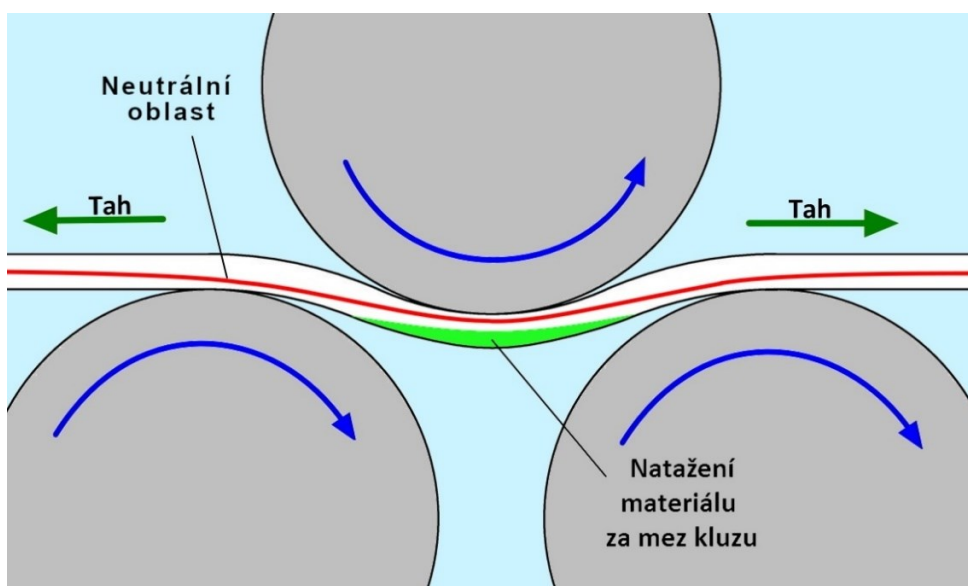
5.1.2 Rovnání pomocí dvou rovnaček současně s přidaným tahem v pásu

Pokud velikost vlny překročí mez, při které již nelze vlnu zcela odstranit nebo alespoň snížit na normou povolenou mez je možno použít způsob rovnání pásu za pomoci dvou rovnaček současně. První 11 válečková rovnačka má nastaveny válce tak, že jsou přesazeny všechny stejně jak na straně vstupu, tak i výstupu. Takovéto přesazení výstupních válců by za normálních okolností způsobilo zakružení pásu na výstupu, proto je nutné použít současně i druhou 17 válečkovou rovnačku zabrání tomuto zakružení pásu zabrání.



Obrázek 5.4 – Proces rovnání materiálu s pomocí dvou rovnaček a přidaného tahu

Průchodem pásu druhou rovnačkou dojde ke srovnání tohoto ohybu. Dalším úkolem druhé rovnačky je udržovat v rovnaném pásu dostatečný tah čímž v něm vznikne potřebné napětí. Kombinace ohybu pásu a zvýšení tahu způsobí, že materiál je na vnější straně prodlužován a na vnitřní straně více zkracován než v případě ohybu bez zvýšení napnutí pásu. Dochází k posunu neutrální osy ze středu tloušťky pásu směrem k vnitřnímu straně ohybu. Díky střídání ohybu materiálu je více prodloužená vnější část ohybu při posunu na další válec ohýbána opačným směrem a původně vnější strana ohybu se stane stranou vnitřní, na které dochází k menšímu zkrácení, než bylo přechozí prodloužení, což způsobuje postupné prodlužování rovnaného pásu.



Obrázek 5.5 – Schéma rovnání ohybem s přidaným tahem v pásu

5.1.3 Hodnocení nastavení rovnaček

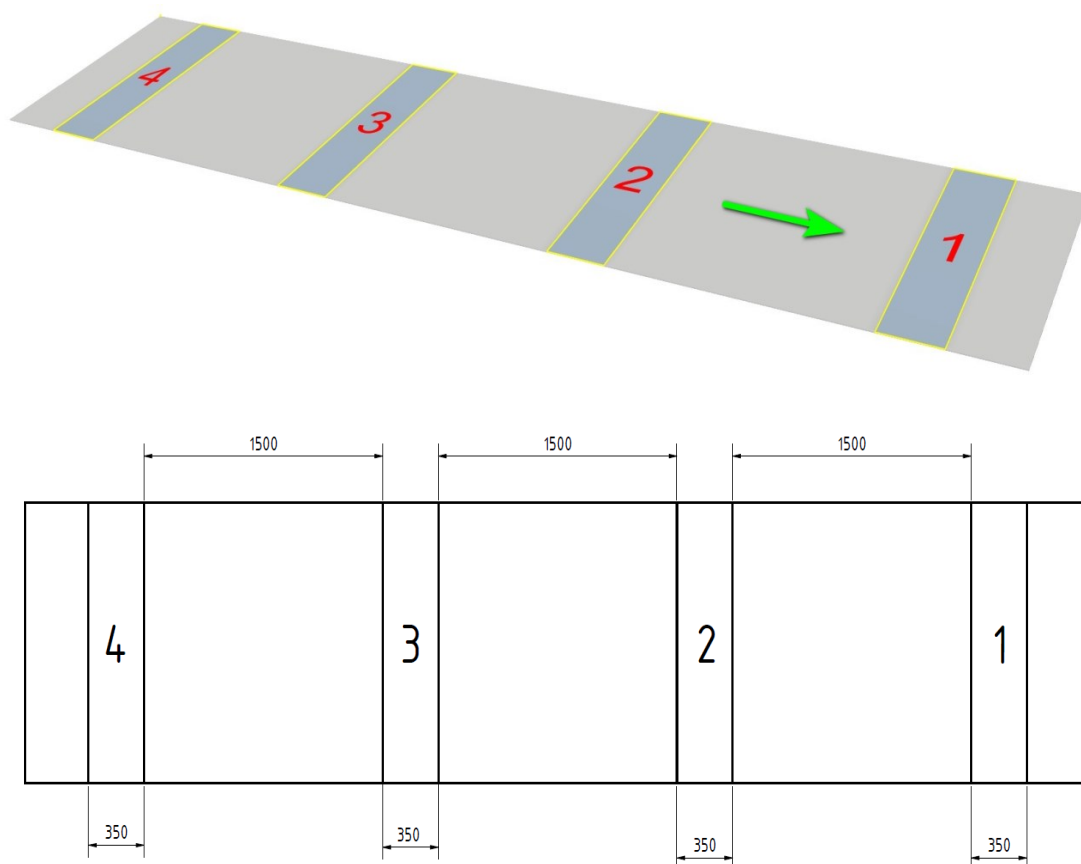
Běžný způsob rovnání použitím jedné rovnačky k vyrovnaní ocelové pásu je vhodný především pro pásy s minimem vad geometrie především vlnitosti, kdy výška vlny již před rovnáním nepřesahuje normou povolené úchytky, popřípadě ji přesahuje pouze mírně. Tento způsob nastavení rovnaček je snadný pro obsluhu zařízení, kdy obsluha nastavuje pouze přesazení vstupních a výstupních pracovních válců na předepsané hodnoty, které jsou závislé na tloušťce a mechanických vlastnostech rovnaného materiálu. Obecně platí, že u materiálů s nižší mezí kluzu lze dosáhnout většího snížení výšky vlny a dochází i k nižšímu zatížení zařízení. Proto lze u materiálů s mezí kluzu přibližně do 300 MPa (DD11, S235JR, P265GH...) rovnat tento materiál na 17válečkové rovnačce s průměrem válců 63 mm až do tloušťky 5 mm a výjimečně i 6 mm. U materiálů s vyšší mezí kluzu je doporučeno rovnat maximálně pás tloušťky 4 mm, protože se nadměrně zvyšuje zatížení rovnačky a s minimálním vlivem na zlepšení rovinnosti pásu. Pro materiály přesahující tyto limity se používá 11válečková rovnačka s průměrem válců 130 mm.

Při rovnání s přidaným tahem pomocí dvou rovnaček současně dochází k velkému zatížení 17válečkové rovnačky především spojovacích tyčí přenášející kroutící moment mezi převodovkou a pracovními válci, kdy při přetížení může dojít ke střížení per sloužících jako pojistka, což může vést i k několikahodinovým prostojům. Proto je doporučeno touto metodou rovnat materiál pouze do tloušťky 4 mm u jakostí s mezí kluzu do 300 MPa. U materiálu s mezí kluzu nad 300 MPa je doporučená tloušťka pásu maximálně 3 mm.

Uvedená doporučení vychází z předchozího testování různých materiálů a limitů zařízení. Vlnitost materiálu se vyskytuje nejčastěji pouze do tloušťky 5 mm a z výše uvedených omezení vyplývá, že největší problém pro rovnání tvoří vlnitý materiál tlouštěk 4 a 5 mm u jakostí s mezí kluzu nad 300 MPa, kdy se již naráží na technické limity 17válečkové rovnačky. Řešením tohoto problému je přechod na výkonnější zařízení, popřípadě jinou technologii rovnání.

5.2 Odběr vzorků

Pro porovnání vlastností pásu byly odebrány z každého testovaného pásu 4 plechy pro zkušební vzorky. Délka testovaných pásů byla 660 m a vzorky byli odbírány přibližně v polovině délky pásu. Plechy č. 1 a 2 prošly procesem rovnání a budou na nich sledovány případné změny. Plechy č. 3 a 4 jsou odebrány z části pásu, který neprošel rovnáním a budou sloužit k porovnání změn. Mezera na páse 1 500 mm mezi rovnanými a nerovnanými plechy (č. 2 a 3) je dána technologickými důvody, proto byly i mezi ostatními plechy určené mezery o stejné velikosti. Vždy dva plechy před a dva po rovnání byly odebrány pro ověření výsledků.

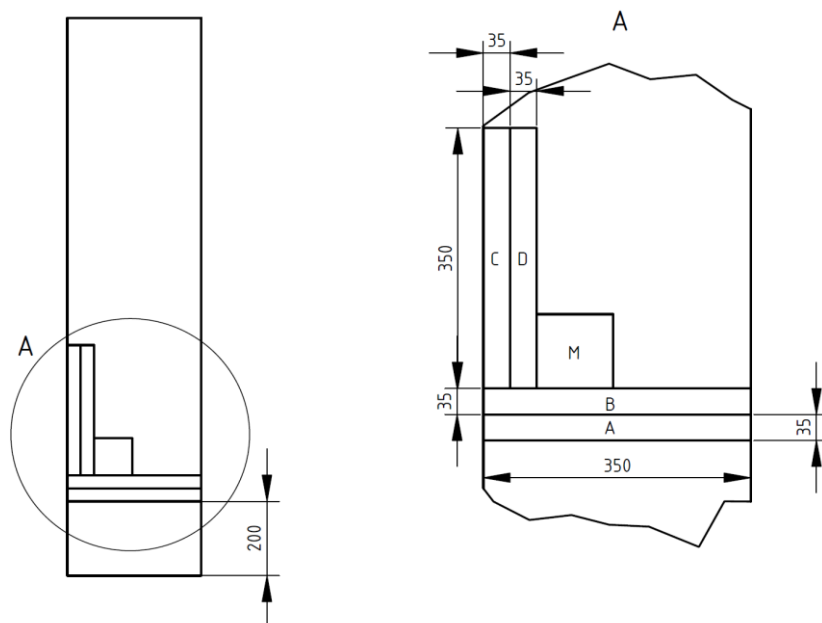


Obrázek 5.6 – Rozmístění plechů pro odběr tabulí z pásu

Byly odebrány dvě sady plechů, každá se čtyřmi kusy. První sada byla odebrána z pásu, při jehož zpracování bylo použito pouze 17válečkové rovnačky. Druhá sada byla z pásu, který byl rovnán 11válečkovou a 17válečkovou rovnačkou současně se zvýšeným tahem.

Z každé tabule byly odebrány 4 kusy vzorků pro tahovou zkoušku a jeden vzorek pro metalografickou zkoušku mikrostruktury.

Vzorky A a B byly odebrány pro tahovou zkoušku v podélném směru to znamená ve směru válcování, vzorky C a D byly určeny pro tahovou zkoušku v příčném směru to znamená kolmo na směr válcování. Pro provedení tahové zkoušky byly určeny vzorky A a C. Vzorky B a D byly určeny jako rezervní pro případ, kdy by došlo k chybě během tahové zkoušky a bylo by potřeba zkoušku opakovat. Vzorky M byly určeny pro porovnání mikrostruktury.



Obrázek 5.7 – Rozmístění zkušebních vzorků na odebraných tabulích
Způsob značení vzorků

N1A

První znak – způsob rovnání

N – běžné rovnání, bez přidaného tahu

T – pomocí dvou rovnaček s přidaným tahem

Druhý znak – pořadí a stav odebrané tabule

1 a 2 – rovnané tabule

3 a 4 – nerovnané tabule

Třetí znak – pozice vzorku na tabuli

A – podélný vzorek

B – podélný vzorek (záložní)

C – příčný vzorek

D – příčný vzorek (záložní)

M – vzorek pro metalografii

Příprava zkušebních tyčí

Jednotlivé plechy byly z pásu odebrány přímo v příčně dělicí lince letnými nůžkami a hydraulickými nůžkami pro stříh konců. Zkušební tyče byly ze vzorků zhotoveny obráběním.



Obrázek 5.8 – Příprava vzorků frézováním

5.3 Použité metody

5.3.1 Tahová zkouška

Tahové zkoušky byly prováděny v Hutních a chemických laboratořích Liberty Ostrava, které jsou akreditovanou zkušební laboratoří. Zkoušky byly provedeny na univerzálním trhačím stroji s plochými čelistmi Instron 4210 vybaveném průtahoměrem a s maximální zatěžovací silou 600 kN.



Obrázek 5.9 – Univerzální trhačí stroj Instron 4210

Zkoušky byly prováděny dle normy: ČSN EN ISO 6892-1 Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty.

Měřené parametry

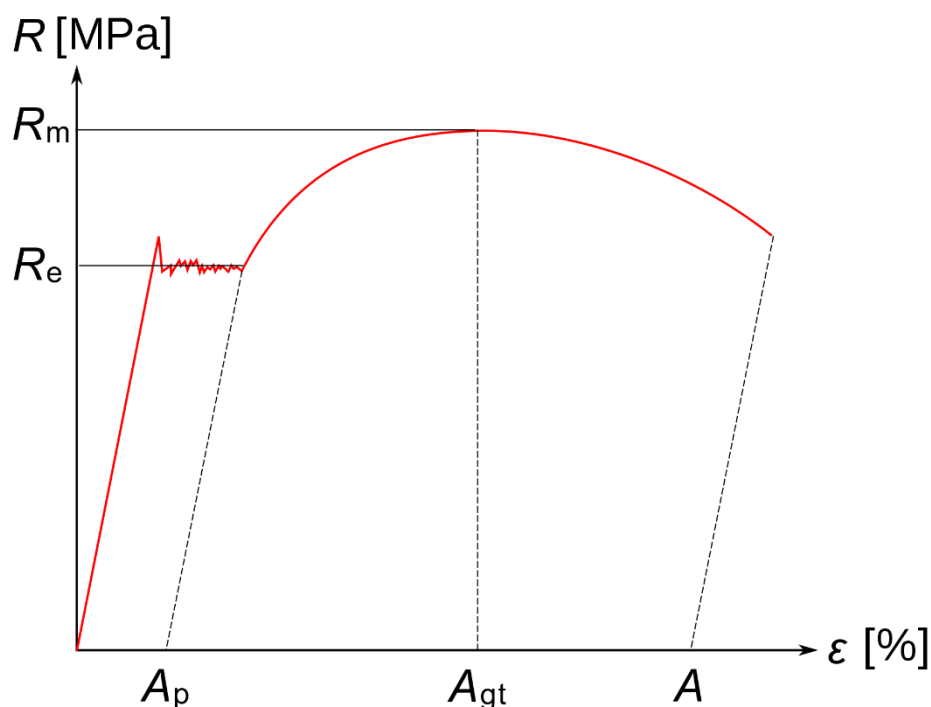
a) Mez kluzu R_e

- určuje, při jakém napětí vznikají v materiálu plastické deformace. Je to hranice mezi elastickou a plastickou deformací. Do této hodnoty napětí se materiál při odebrání působící síly vrátí do původního stavu. Při překročení meze kluzu dochází k prodloužení materiálu bez dalšího zvětšování působící síly.

b) Mez pevnosti R_m

- mez pevnosti v tahu je určena napětím v okamžiku přetržení zkušební vzorku. Síla je vztažena na původní velikost průřezu vzorku. ε

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$



Obrázek 5.10 – Pracovní diagram oceli s výraznou mezi kluzu R_e ,
zdroj: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ocel>

c) Smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$

- u materiálů, u kterých není výrazná mez kluzu, se stanovuje smluvní mez kluzu. V pracovním diagramu se vynesou rovnoběžka z osy zobrazující prodloužení v místě odpovídající smluvené hodnotě, v našem případě odpovídající trvalé deformaci 0,2 % počáteční měřené délky L_0 . V místě průtnutí tahové křivky se odečte hodnota napětí smluvní meze kluzu.

d) Tažnost A

- je trvalá prodloužení (deformace) měřené délky v procentech. Tažnost byla měřena průtahoměrem, který je součástí trhačího stroje. Tažnost A se počítá dle vzorce:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad [\%]$$

L_0 – počáteční měřená délka

L_u – délka po protažení

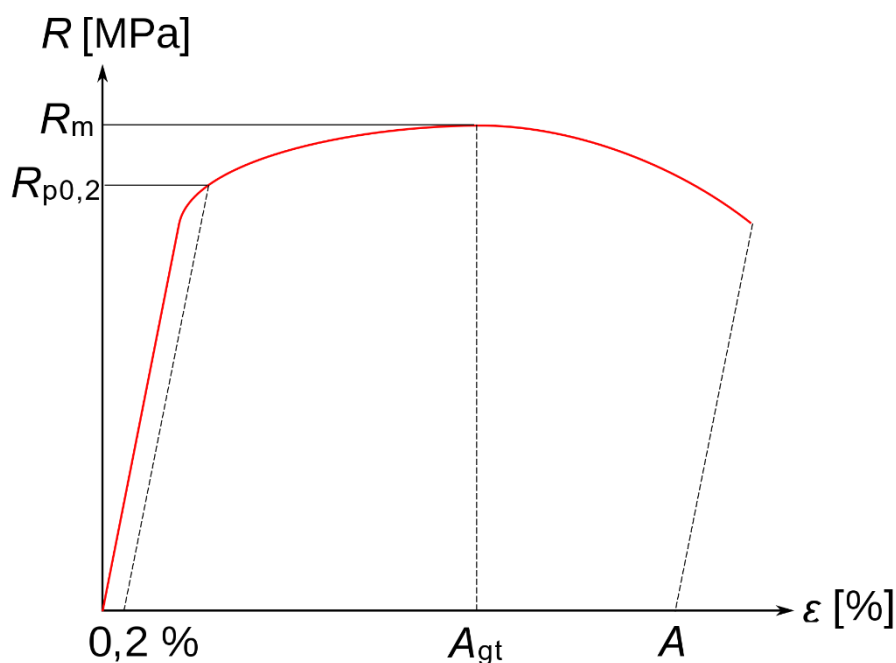
e) Tažnost A_{gt}

- stanovuje celkové prodloužení při největším zatížení stanovuje se průtahoměrem

f) Kontrakce Z

- zúžení průřezu zkušebního tělesa na předem stanoveném počátečním průřezu S_0 . Před samotnou zkouškou byl změřen počáteční průřez vzorku a po jeho přetržení byl změřen průřez v místě přetržení. Z těchto hodnot byla vypočtena kontrakce dle vzorce:

$$Z = \frac{Z_0 - Z_U}{Z_0} \cdot 100 \quad [\%]$$



Obrázek 5.11 – Pracovní diagram oceli se smluvní mezí kluzu $R_{p0,2}$ při trvalé deformaci 0,2 % počáteční měřené délky L_0 , zdroj: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Ocel>

5.3.2 Metalografie

Metalografie slouží k zjišťování souvislosti mezi vlastnostmi materiálu a jeho strukturou, umožňuje kontrolovat a sledovat vlastnosti materiálu při jeho výrobě a zpracování (průběžná či mezioperační kontrola), hledat příčiny vad materiálu nevyhovujících výrobků nebo vysvětlit důvody selhání nějakého zařízení. Kovy a jejich slitiny jsou materiály neprůhledné a k jejich pozorování se používají optické mikroskopy v režimu odrazu, protože nejvyšší odrazivost mají plochy dokonale rovné a hladké, proto cílem je připravit vzorek právě s takovou plochou. Při odběru a přípravě vzorku musí být především vždy postupováno tak, aby struktura materiálu nebyla ovlivněna mechanicky ani tepelně.

Postup přípravy vzorku pro pozorování – tzv. metalografického výbrusu se skládá z několika na sebe navazujících kroků:

- odběr vzorku,
- preparace vzorku (pouze u některých vzorků),
- broušení,
- leštění,
- leptání.

Kterýkoliv z uvedených kroků může výrazně ovlivnit kvalitu výsledného metalografického výbrusu, proto je důležité u všech kroků přesně dodržovat stanovené postupy.



Obrázek 5.12 – Schéma přípravy metalografického výbrusu

Metalografické zkoušky byly provedeny v metalografické laboratoři společnosti Vítkovice testing center, s. r. o., která je akreditovanou zkušební laboratoří. Leptání povrchu vzorků bylo provedeno leptadlem Nital, což je 4% roztok kyseliny dusičné v alkoholu.

6 Zjištěné výsledky

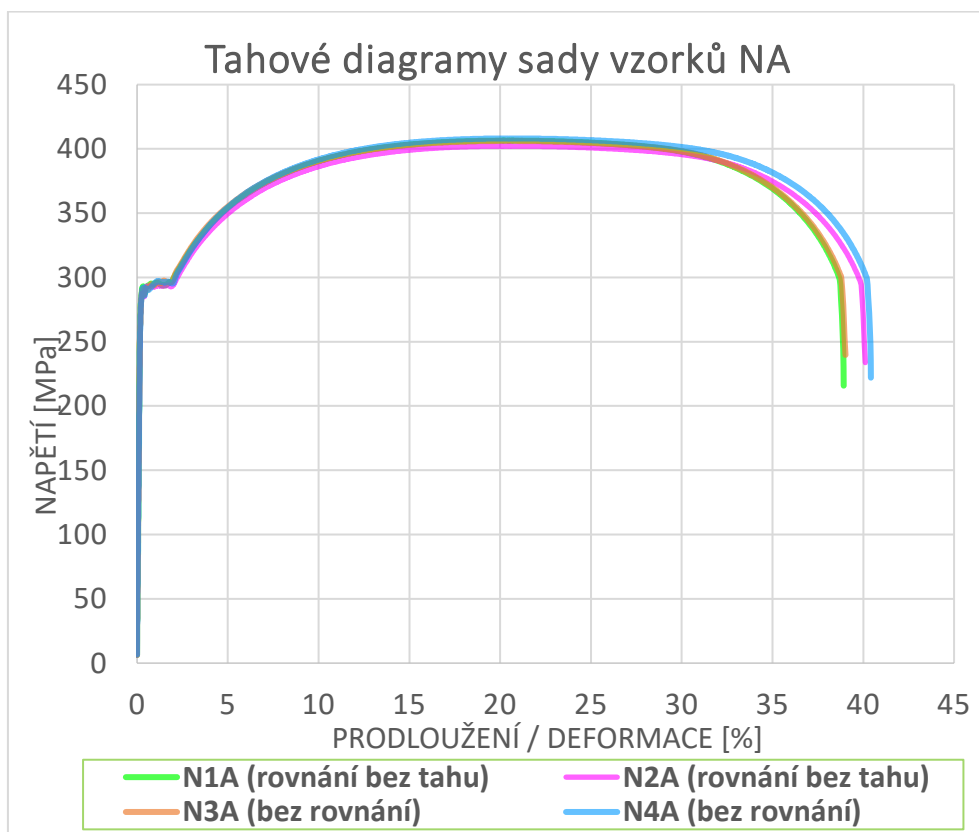
6.1 Porovnání změn mechanických vlastností

U všech vzorků byla zaznamenávána i smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$, včetně vzorků s výraznou mezí kluzu, což bylo velmi důležité z hlediska následného porovnávání. Výsledky testování pásu rovnaného běžným způsobem pouze za použití jedné rovnáčky bez přidaného tahu ukazují, že tento způsob rovnání nemá vliv na mechanické vlastnosti zpracovávaného materiálu. Hodnoty smluvní meze kluzu, meze pevnosti, tažnosti a kontrakce u jednotlivých vzorků se od sebe příliš neliší.

Tabulka 6.1 – Hodnoty mechanických vlastností sady vzorků NA, podélné vzorky, rovnání bez přidaného tahu

Stav	Označení vzorku	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_{eH} [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]
rovnaný pás bez přidaného tahu	N1A	290	–	406	38,8	54
	N2A	285	288	402	40,0	55
nerovnaný pás	N3A	289	–	406	38,9	52
	N4A	290	–	408	40,3	52

Na tahových diagramech je patrné, že jsou téměř identické a nedošlo ke změnám mechanických vlastností vlivem použité metody rovnání.

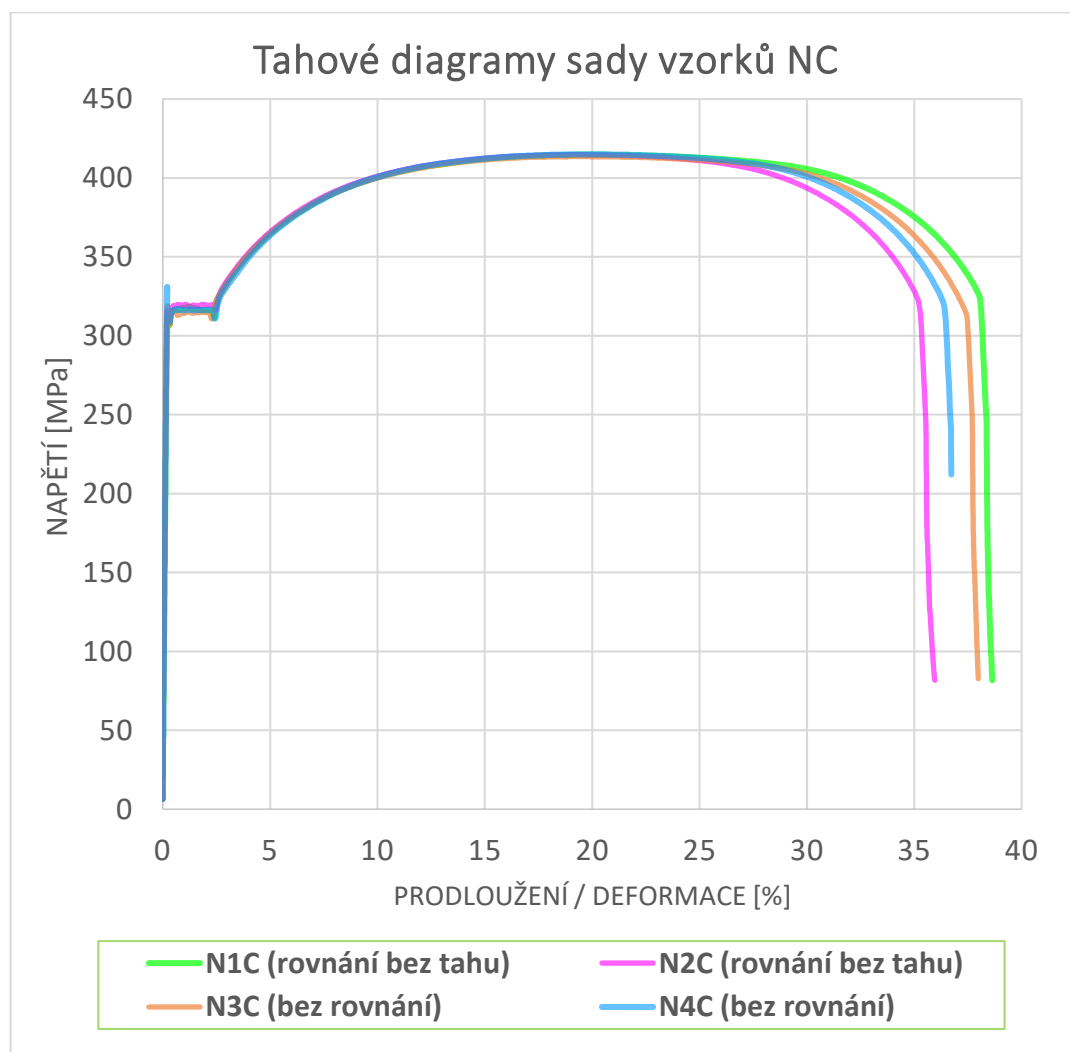


Obrázek 6.1 – Tahové diagramy sady vzorků NA (podélné)

U sady vzorků odebraných kolmo na směr válcování také nebyl tahovou zkouškou zjištěn rozdíl ve vlastnostech rovnaného a nerovnaného pásu. Při porovnání hodnot příčných a podélných vzorků je mezi nimi vidět mírný rozdíl. Porovnáním tahových diagramů je vidět u vzorků kolmých na směr válcování výraznější mez kluzu, což potvrzují i výsledky, kdy se podařilo určit i hodnoty horní meze kluzu R_{eH} u všech čtyř příčných vzorků (sada NC), kdežto u podélných vzorků (sada NA) pouze u jednoho vzorku (N2A).

Tabulka 6.2 – Hodnoty mechanických vlastností sady vzorků NC, příčné vzorky, rovnání bez přidaného tahu

Stav	Označení vzorku	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_{eH} [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]
rovnaný pás bez přidaného tahu	N1C	314	313	415	38,6	50
	N2C	315	316	415	35,9	51
nerovnaný pás	N3C	310	319	414	37,9	51
	N4C	314	331	415	36,6	53

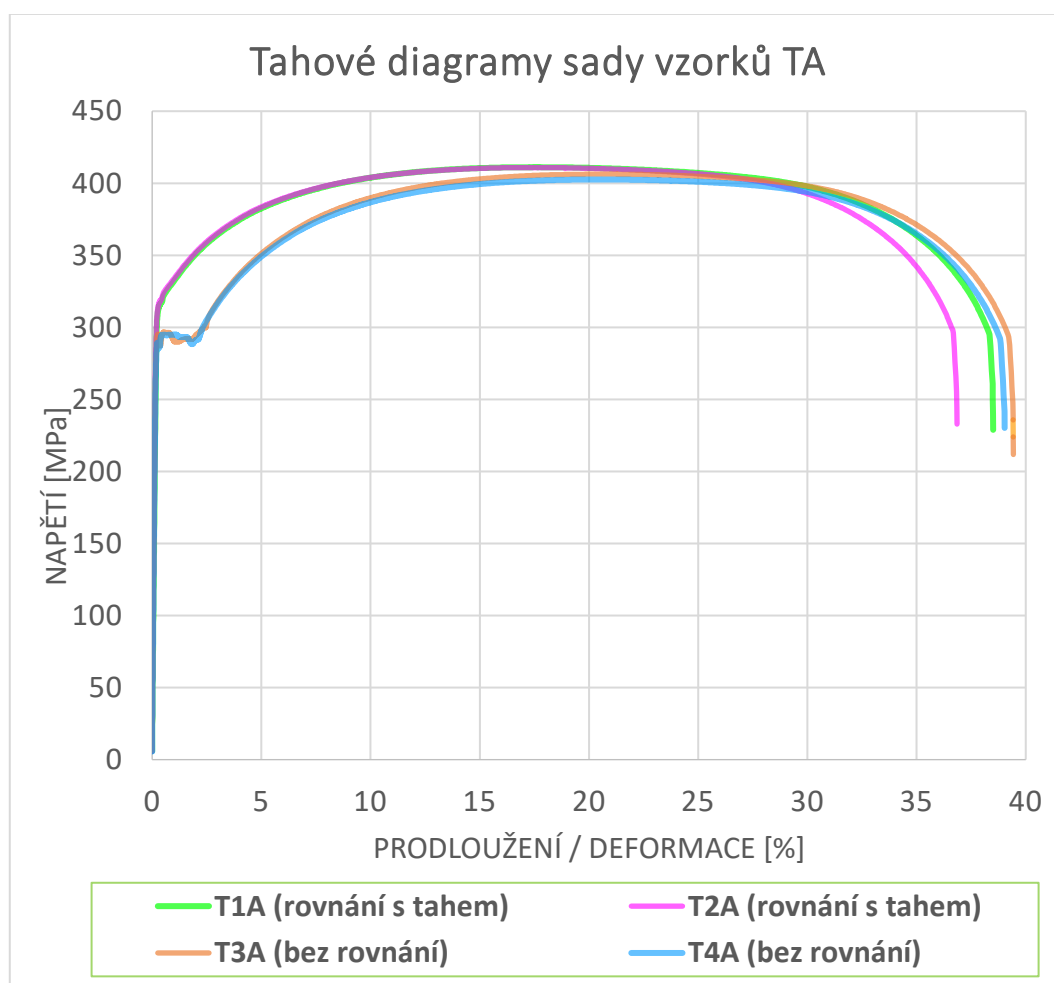


Obrázek 6.2 – Tahové diagramy sady vzorků NC (příčné)

U vzorků odebraných z pásu, který byl rovnán pomocí dvou rovnaček současně a s přidaným tahem je již patrný poměrně velký nárůst smluvní meze kluzu $R_{p0,2}$, který činí přibližně 28 MPa což je cca 10 %, nárůst meze pevnosti R_m není významný. Při porovnání tahových diagramů vzorků pásu před a po rovnání je patrná změna v oblasti meze kluzu, kde u vzorků odebraných před rovnáním je patrná výrazná mez kluzu. U vzorků z pásu, který již prošel procesem rovnání, se při tahové zkoušce mez kluzu již takto významně neprojevila a bylo nutné proto použít pro její určení smluvní mez kluzu $R_{p0,2}$.

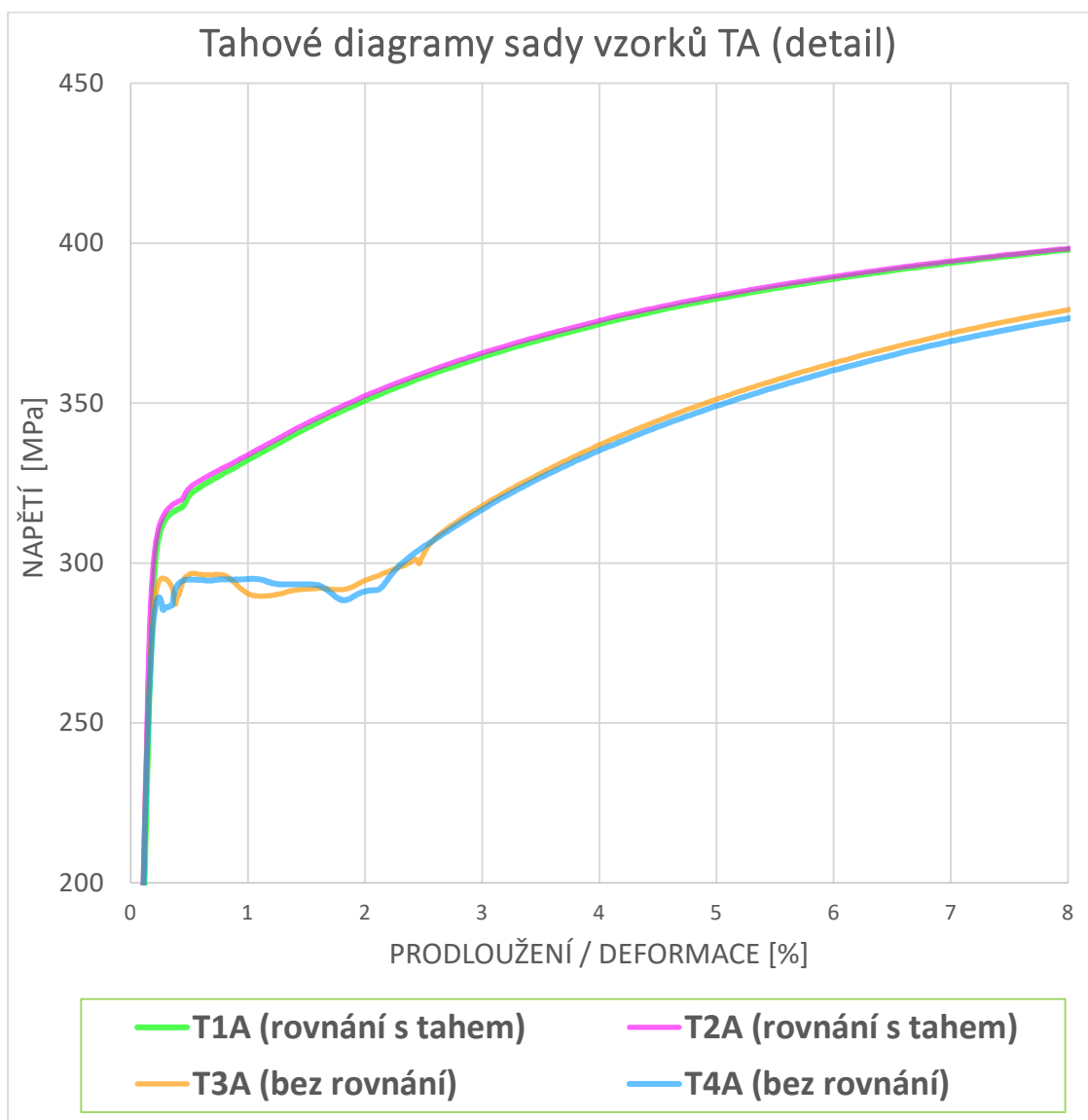
Tabulka 6.3 – Hodnoty mechanických vlastností sady vzorků TA, podélné vzorky, rovnání s přidaným tahem

Stav	Označení vzorku	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_{eH} [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]
Rovnaný pás s přidaným tahem	T1A	317	–	411	38,4	49
	T2A	319	–	411	36,7	48
Nerovnaný pás	T3A	291	295	406	39,3	49
	T4A	289	289	403	38,9	51



Obrázek 6.3 – Tahové diagramy sady vzorků TA (podélné)

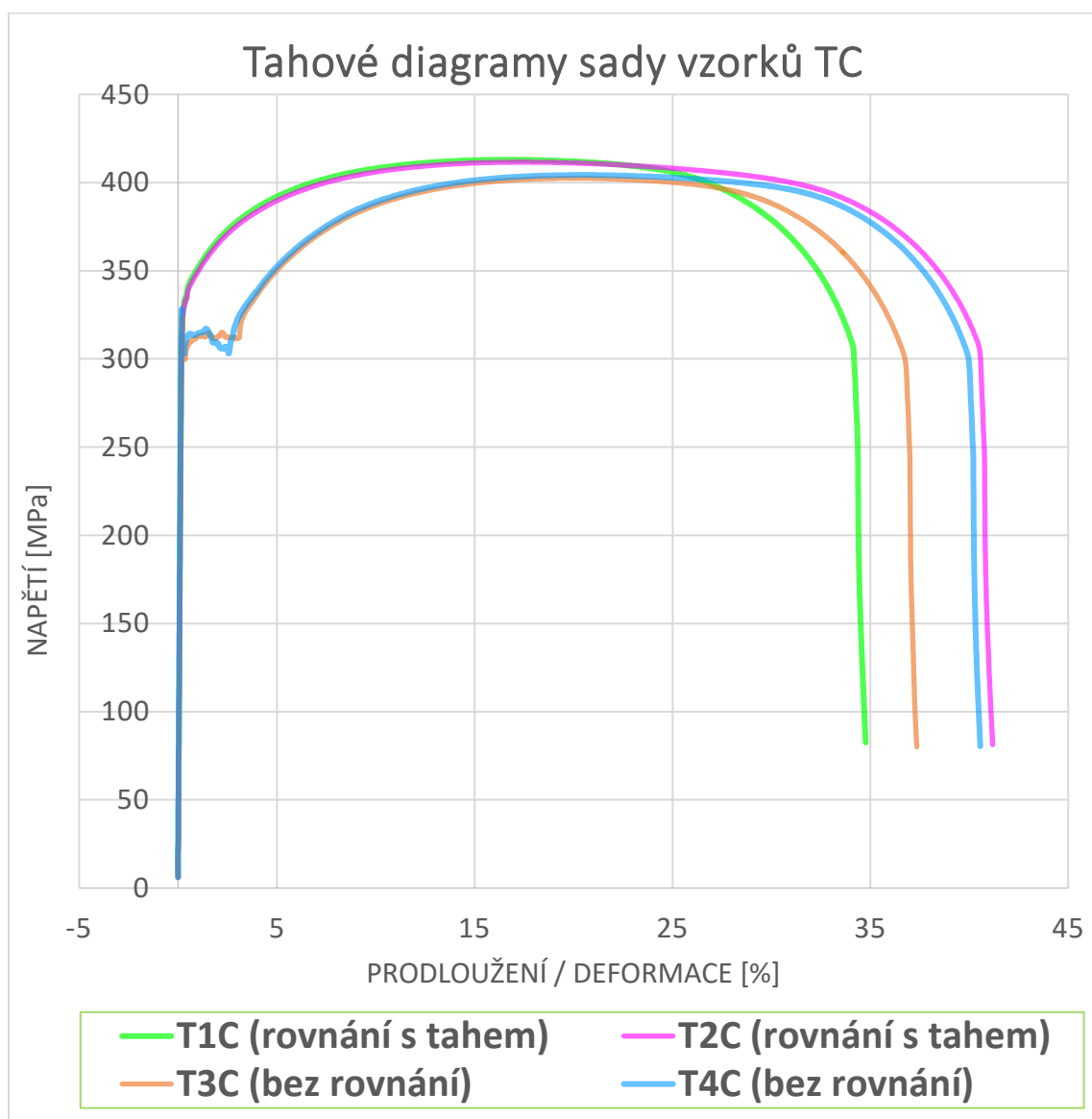
Na detailu tahového diagramu z oblasti meze kluzu lze vidět výraznou mez kluzu u vzorků, které nebyly rovnány a ztrátu výrazné meze kluzu u vzorků, které prošly rovnáním s přidáním tahem. U vzorků ve dvojici (druhý z dvojice je vždy kontrolní) byl zaznamenán téměř identický průběh tahové zkoušky.



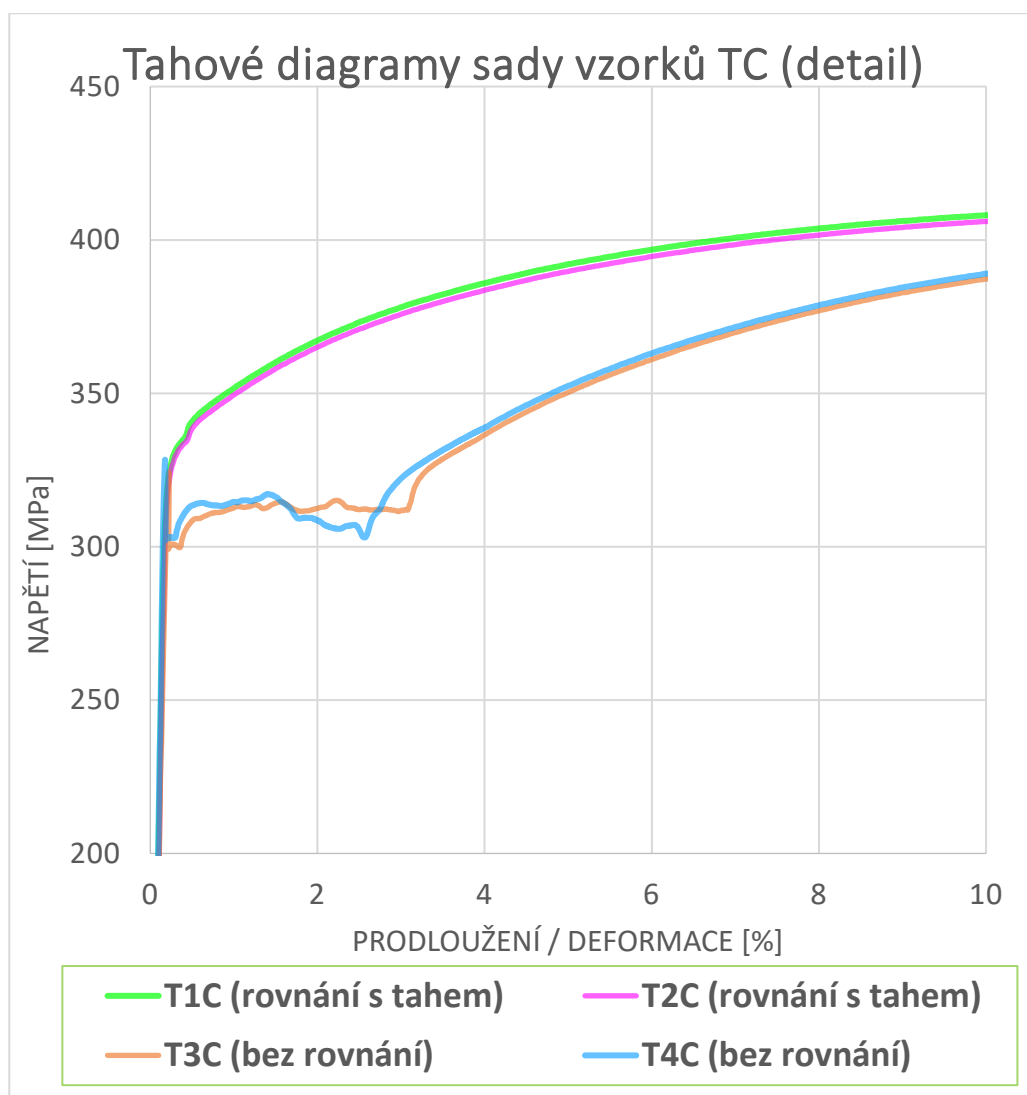
Obrázek 6.4 – Detail tahových diagramů z oblasti meze kluzu sady vzorků TA (podélné)

Tabulka 6.4 – Hodnoty mechanických vlastností sady vzorků TC, příčné vzorky, rovnání s přidaným tahem

Stav	Označení vzorku	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_{eH} [MPa]	R_m [MPa]	A [%]	Z [%]
Rovnaný pás s přidaným tahem	T1C	334	–	413	34,7	48
	T2C	333	–	412	41,1	54
Nerovnaný pás	T3C	300	324	402	37,3	52
	T4C	308	328	404	40,5	52



Obrázek 6.5 – Tahové diagramy sady vzorků TC (příčné)

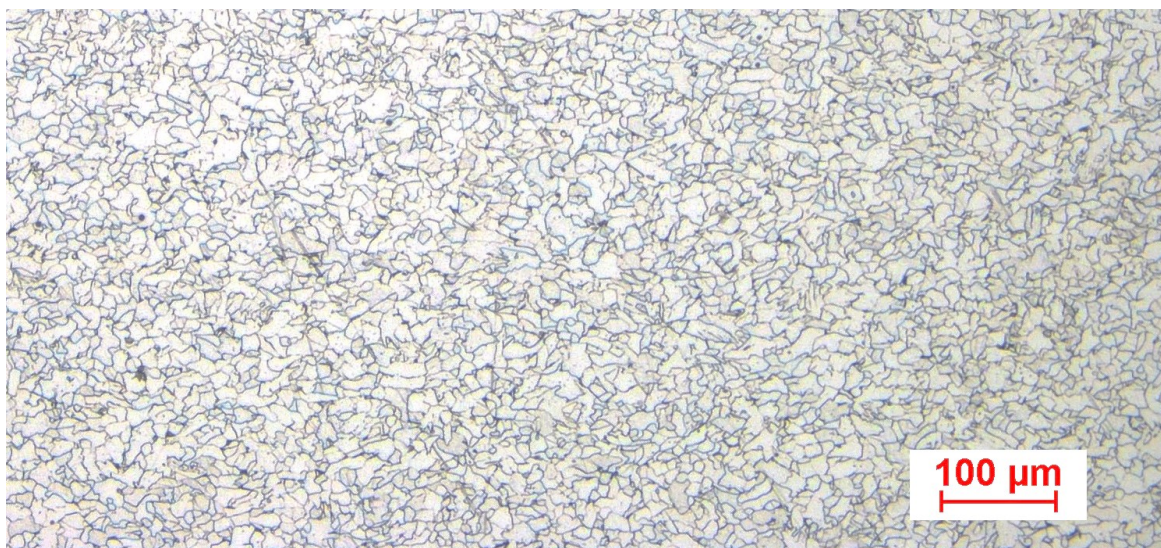


Obrázek 6.6 – Detail tahových diagramů v oblasti meze kluzu sady vzorků TC (příčné)

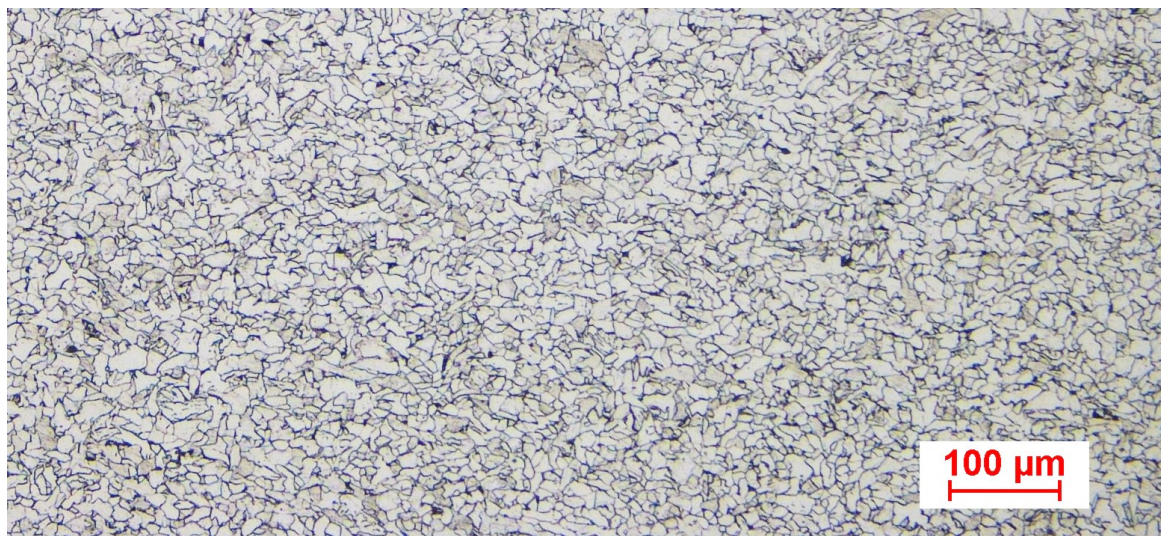
6.2 Porovnání mikrostruktury

Mikrostruktura všech vzorků z pásu plechu byla kontrolována na podélných i příčných řezech. Byla zjištěna feriticko-perlitická struktura typická pro nízkouhlíkové oceli. Při kontrole mikrostruktury před a po rovnání pásu plechu nebyly zjištěny u žádného vzorku výrazné změny v mikrostruktuře. Mikrostruktura všech vzorků je podobná, vcelku rovnoměrná, jemnozrnná, tvořená polyedrickými zrny masivního feritu bez zjevné orientace zrn s četnými drobnými útvary lamelárního perlitu a řetízky karbidů po hranicích zrn i volnými nerovnoměrně rozloženými karbidy uvnitř zrn.

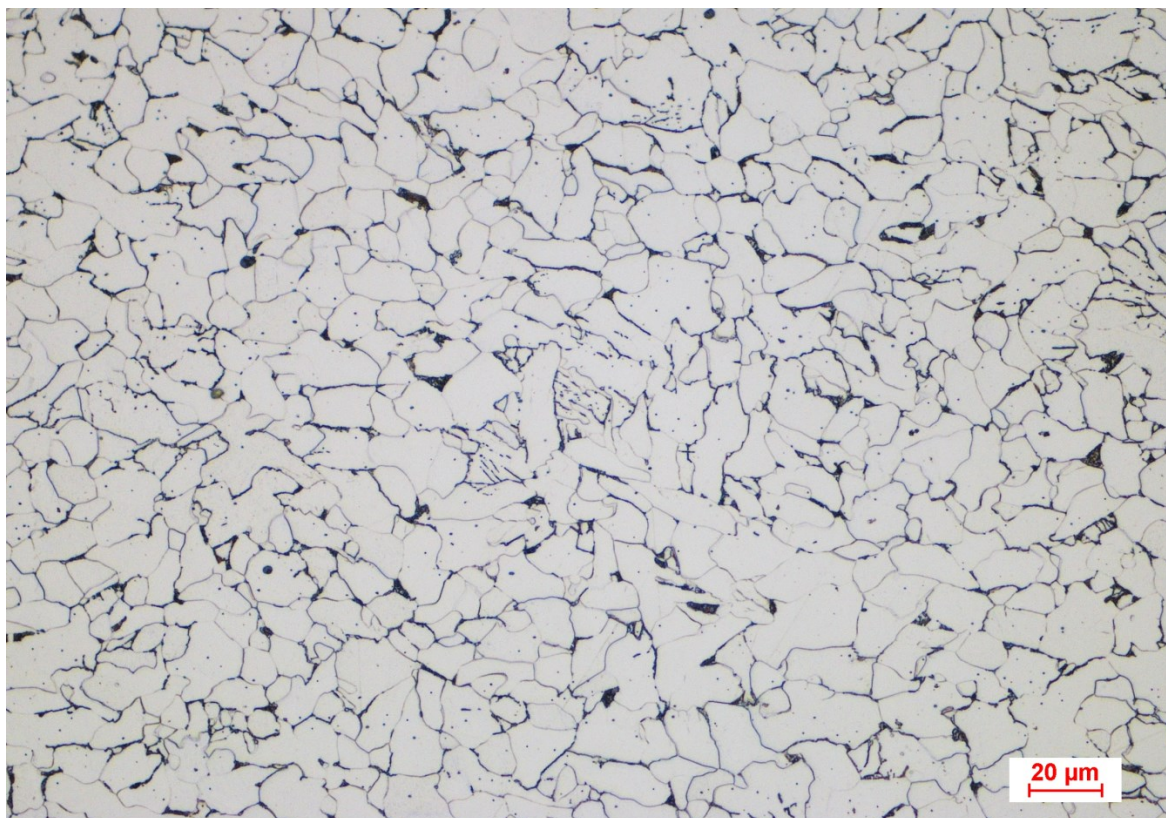
U všech testovaných vzorků byla zjištěna velikost zrna $G = 9$ dle ČSN EN ISO 643. Ke stanovení velikosti zrna, byla použita srovnávací metoda. Při stonásobném zvětšení bylo porovnáno pět polí každého vzorku s etalonovou řadou dle ČSN EN ISO 643.



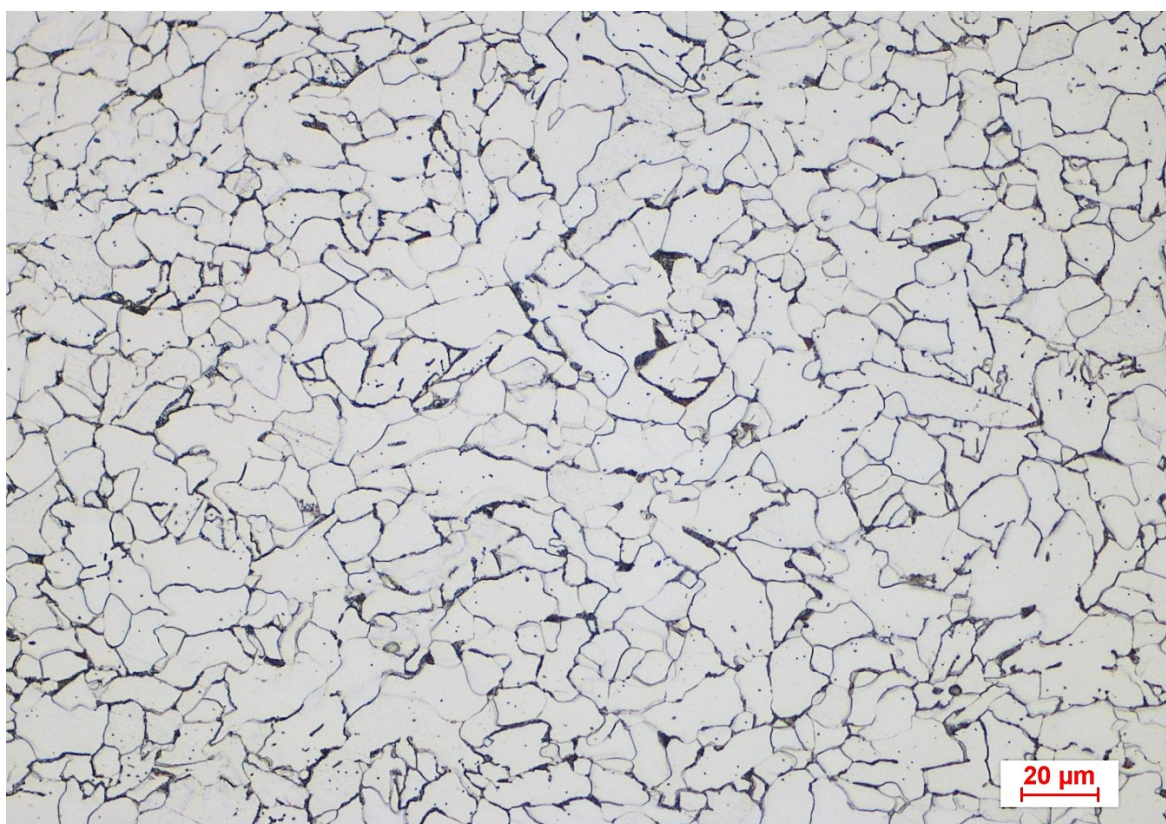
Obrázek 6.7 – Mikrostruktura podélného řezu vzorku N2M, pás rovnaný bez tahu, zvětšení 100x, leptáno nitalem 4%



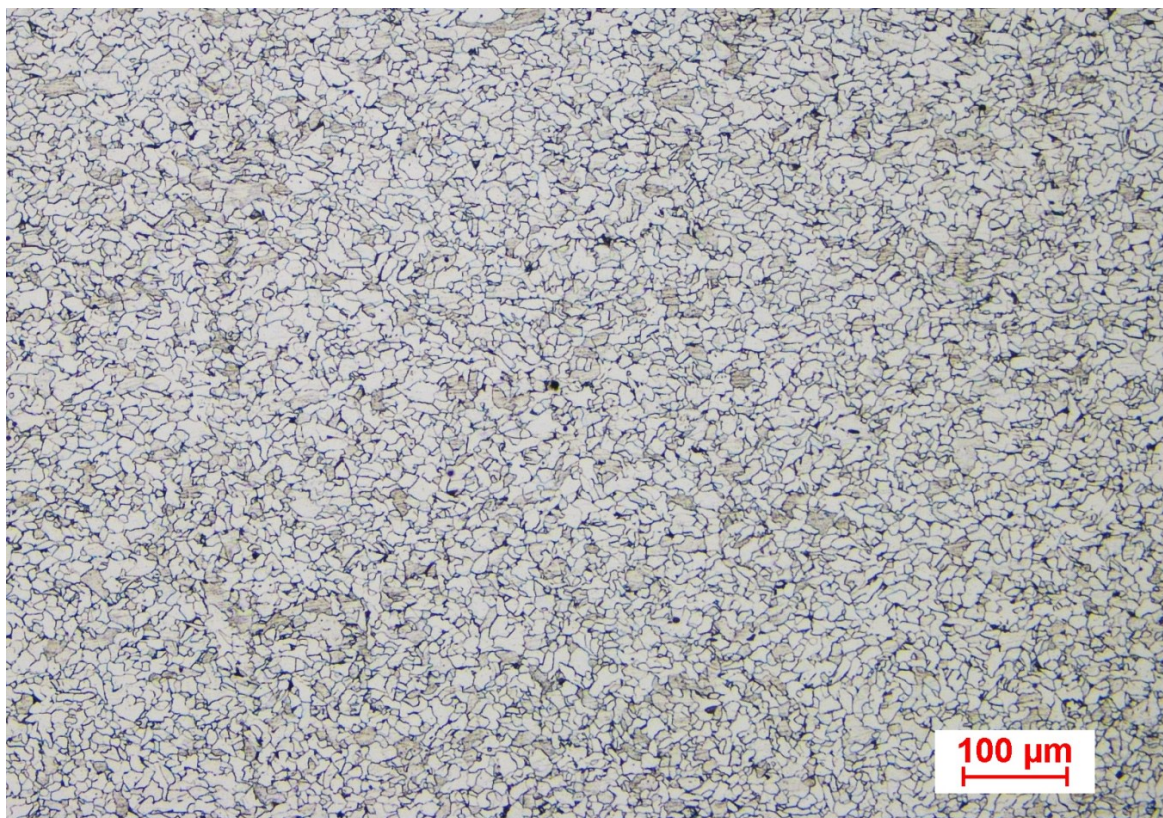
Obrázek 6.8 – Mikrostruktura podélného řezu vzorku N3M, nerovnaný pás, zvětšení 100x, leptáno nitalem 4%



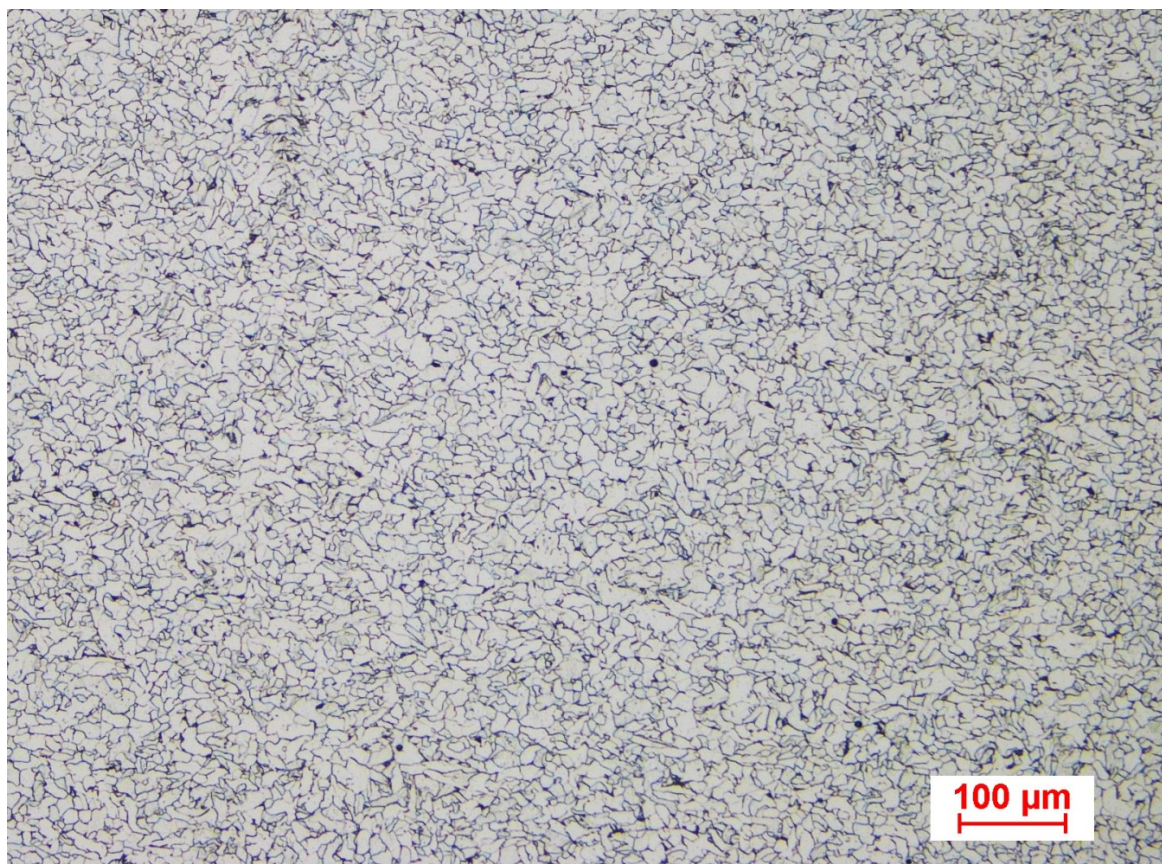
Obrázek 6.9 - Mikrostruktura podélného řezu vzorku N2M, pás rovnaný bez tahu, zvětšení 500x, leptáno nitem 4%



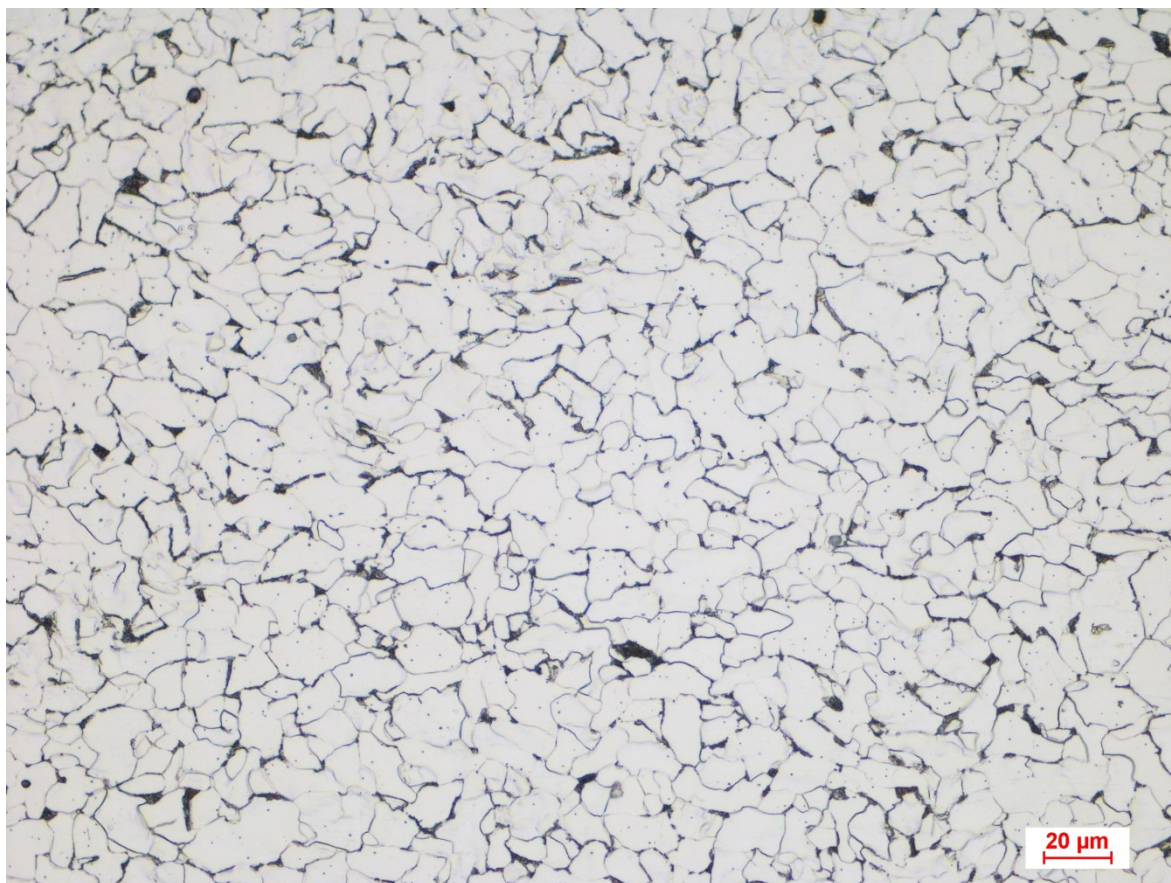
Obrázek 6.10 – Mikrostruktura podélného řezu vzorku N3M, nerovnaný pás, zvětšení 500x, leptáno nitem 4%



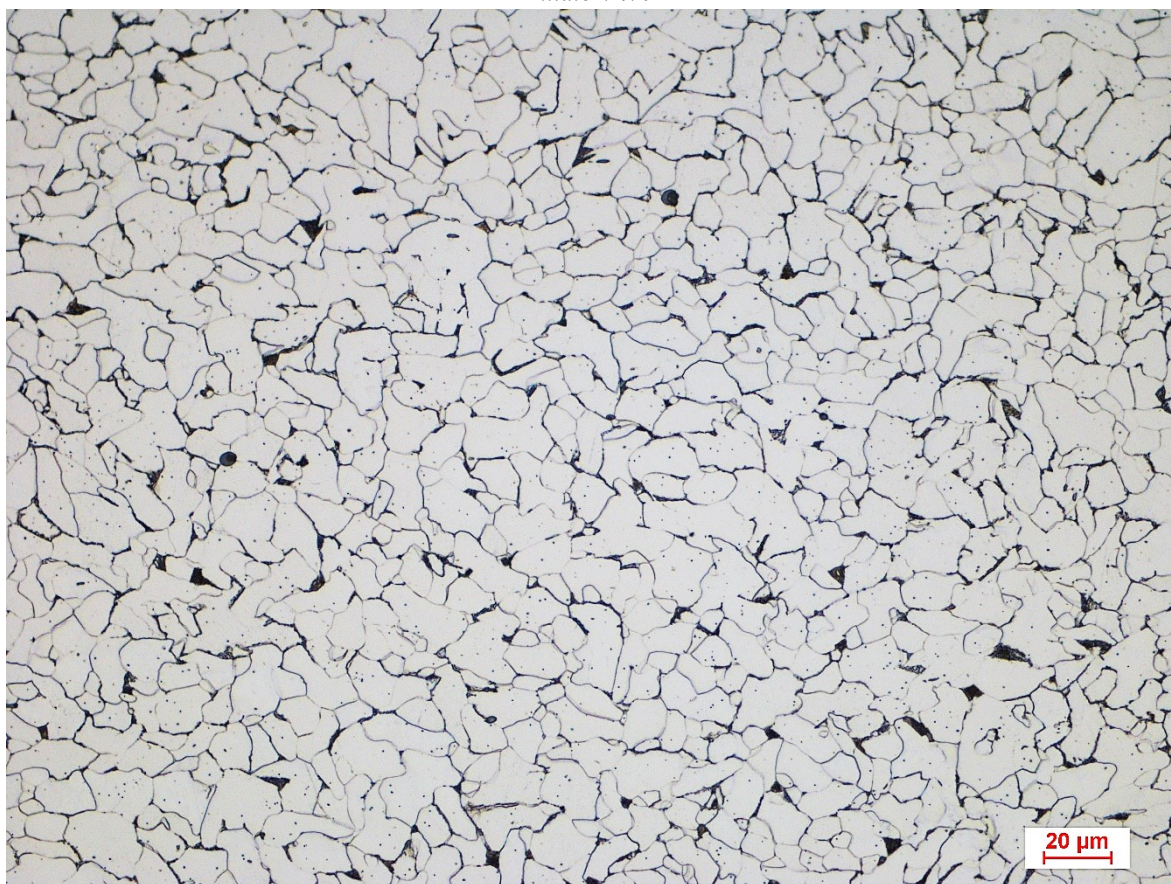
Obrázek 6.11 – Mikrostruktura podélného řezu vzorku T2M, rovnaný pás s přidáním tahem, zvětšení 100x, leptáno nitalem 4%



Obrázek 6.12 – Mikrostruktura podélného řezu vzorku T3M, nerovnaný pás, zvětšení 100x, leptáno nitalem 4%



Obrázek 6.13 – Mikrostruktura podélného řezu vzorku T2M, rovnaný pás s přidáním tahem, zvětšení 500x, leptáno nitalem 4%



Obrázek 6.14 – Mikrostruktura podélného řezu vzorku T3M, nerovnaný pás, zvětšení 500x, leptáno nitalem 4%

6.3 Porovnání změn rozměrů

Před odběrem vzorků z pásu bylo provedeno měření jeho rozměrů před a po rovnání. Pro měření tloušťky a šířky pásu bylo vyznačeno místo na pásu, kde se měření provádí a pro měření délky byl na páse ve směru válcování vyznačen úsek o délce 1 000 mm. Měření tloušťky bylo prováděno mikrometrem pro měření plechů, měření šířky a délky ocelovým pásmem. Tloušťka byla také proměřována na každé odebrané tabuli ve třech místech, a to na obou okrajích a ve středu pásu.

V případě měření pásu rovnaného běžným způsobem za použití pouze 17válečkové rovnačky byly naměřeny stejné hodnoty před i po průchodu rovnačkou, což znamená, že nebyla zjištěna žádná změna rozměrů.

Tabulka 6.5 – Změřené hodnoty rozměrů pásu rovnaného bez tahu

Bez tahu	Naměřené hodnoty				
Stav	Tloušťka [mm]			Šířka [mm]	Délka [mm]
	Levá strana	Střed	Pravá strana		
Před rovnáním	4,03	4,04	4,03	1508	1000
Po rovnání	4,03	4,04	4,03	1508	1000



Obrázek 6.15 – Měření tloušťky pásu plechu mikrometrem na plech

Při měření pásu, který byl rovnán kombinací 11 a 17válečkové rovnačky byla zjištěna výrazná změna jeho rozměrů. Na vyznačeném úseku délky 1 000 mm byla po průchodu rovnačkami naměřena hodnota 1 018 mm, což znamená, že na 1 m délky byl pás protažen o 18 mm. Protažení pásu mělo samozřejmě vliv na tloušťku a šířku pásu. Šířka pásu se zúžila o 1 mm a došlo také k výraznému snížení tloušťky pásu o 0,07 mm.

Tabulka 6.6 – Změřené hodnoty rozměrů pásu rovnaného s přidaným tahem

S tahem	Naměřené hodnoty				
Stav	Tloušťka [mm]			Šířka [mm]	Délka [mm]
	Levá strana	Střed	Pravá strana		
Před rovnáním	4,01	4,03	4,02	1511	1000
Po rovnání	3,94	3,96	3,95	1510	1018

Dále bylo provedeno také měření rozdílů rozměrů pásu při rovnání s přidaným tahem u materiálů tloušťky 2, 3, 4 a zkušebně i 5 mm. Měření tloušťky bylo prováděno pouze na okrajích pásu, protože nebyly odebírány vzorky a nebylo tedy možné měřit ve střední části pásu. Z hodnot lze vidět, že změny rozměrů po rovnání jsou větší s rostoucí tloušťkou. To je způsobeno tím, že při použití stejných průměrů válců dochází k většímu natažení materiálu na vnější straně ohybu.

Tabulka 6.7 – Naměřené hodnoty u různých tlouštěk pásu před a po rovnání s přidaným tahem, jakost S235JR

Tloušťka – levá strana [mm]		Tloušťka – pravá strana [mm]		Šířka [mm]		Změřená délka po rovnání
před rovnáním	po rovnání	před rovnáním	po rovnání	před rovnáním	po rovnání	
2,00	1,98	2,01	1,99	1016,2	1015,5	1008
3,00	2,97	3,01	2,98	1515,5	1514,5	1009
3,06	3,02	3,03	3,00	1506,0	1505,0	1011
3,06	3,02	3,04	3,00	1515,0	1514,2	1014
3,98	3,92	3,99	3,94	1507,5	1506,7	1015
4,03	3,99	4,00	3,95	1510,0	1509,5	1013
4,05	4,00	4,09	4,03	1505,0	1503,5	1017
4,12	4,05	4,11	4,04	1500,0	1499,4	1017
5,06	4,98	5,03	4,95	1508,5	1507,5	1017

7 Závěr

Z diplomové práce „*Vliv rovnání na vlastnosti ocelového pásu válcovaného zatepla*“ vyplývají tyto závěry:

- a) Při běžném rovnání na válečkové rovnačce příčně dělicí linky ve společnosti Liberty Distribution Ostrava, s. r. o. bez přidaného tahu nebyly zjištěny žádné změny v rozměrech (viz tabulka 6.5) ani v mechanických vlastnostech rovnaného pásu (viz tabulka 6.1).
- b) Při rovnání pásu pomocí dvou rovnaček a přidaného tahu byly zjištěny změny rozměrů pásu (viz tabulka 6.6 a 6.7). Pokud je tloušťka pásu po vyválcování těsně nad horní úchylkou tloušťky, je možno využít tento způsob rovnání ke zmenšení tloušťky, aby výsledné hodnoty tloušťky pásu byly v toleranci předepsané rozměrovou normou polotovaru. V opačném případě, kdy je tloušťka pásu před rovnáním na dolní hranici tolerance, hrozí po rovnání pásu riziko nedodržení tolerance tloušťky pásu, protože se ztenčením dostane pod dolní mezní úchylku tloušťky pásu. V takových případech se při rovnání pásu doporučuje zmenšit přesazení válců válečkové rovnačky, popřípadě zvolit jiný způsob rovnání pásu. Proto by se kontrola tloušťky pásu měla vždy provádět až po průchodu pásu rovnačkami.
- c) Rovnáním pásu za použití přidaného tahu dochází také ke zúžení pásu (viz kapitola 6.3). Existuje riziko nedodržení šířky pásu dle rozměrové normy polotovaru, a to především u ostřížených pásů, kde jsou mezní úchyly šířky pouze +3 a +5 mm. K rovnání pásu dochází až po ostřížení okrajů, a proto je nutné nastavit šířku ostřížení pásu větší a kontrolní měření provádět až po rovnání pásu.
- d) Testováním mechanických vlastností (viz kapitola 6.1) bylo zjištěno zpevnění testovaného materiálu jakosti S235JR (viz kapitola 4.1) rovnáním s přidaným tahem a odstranění výrazné meze kluzu (viz obrázek 6.3 a 6.5). Jelikož rovnáním pásu dochází ke zvýšení hodnot jeho mechanických vlastností oproti hodnotám před rovnáním, tj. po válcování, nepředstavuje toto problém. Zvýšení hodnot mechanických vlastností rovnáním pásu lze využít v případě nedodržení normou předepsaných mechanických vlastností, kdy se hodnoty meze kluzu pohybují pod minimální povolenou hranicí. Proto je doporučeno odebrat po rovnání vzorky pro opakovací zkoušky.

- e) Výsledky zkoušek mikrostruktury materiálu před a po rovnání (viz kapitola 6.2) prokázaly, že při rovnání pásu plechu oběma testovanými metodami (viz kapitola 5.1) nedošlo k výrazným změnám mikrostruktury materiálu, jako například protažení zrn, protože deformace ve směru tloušťky byla z pohledu mikrostruktury minimální, jelikož nedosahovala ani 2 %.
- f) Po plánované modernizaci dělicích linek ve společnosti Liberty Distribution Ostrava, s. r. o., budou informace zpracované v této diplomové práci použity pro porovnání metod rovnání pásů plechu a následnému výběru vhodné metody rovnání. Na základě zkušeností získaných při zpracování této práce bude upřesněn postup testování dalších jakostí pásů plechu a nově použitých metod rovnání pásů.

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval panu prof. Ing. Radku Čadovi, CSc. za cenné připomínky a pomoc při zpracování této práce, pracovníkům mechanické zkušebny Hutních a chemických laboratoří Liberty Ostrava, a. s. a metalografické zkušebny VÍTKOVICE TESTING CENTER, s. r. o. za jejich vstřícný přístup.

8 Seznam příloh

Příloha A – Protokol tahové zkoušky (vzorky skupiny NA)

Příloha B – Protokol tahové zkoušky (vzorky skupiny NC)

Příloha C – Protokol tahové zkoušky (vzorky skupiny TA)

Příloha D – Protokol tahové zkoušky (vzorky skupiny TC)

Příloha E – Protokol – zkoušení mikrostruktury

9 Seznam použité literatury

- [1] *Liberty Ostrava – Výročí založení Nové huti* [online]. [cit. 2020-03-11]. Dostupné z: <https://www.novahuti.cz/historie/>
- [2] Závody a dceřiné společnosti – Liberty Ostrava. *Liberty Ostrava* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://libertyostrava.cz/o-spolecnosti/zavody/>
- [3] Basic Levelling – Flat Book Pt.2. *Roll Forming and Coil Processing Equipment* [online]. [cit. 2020-04-18]. Dostupné z: <https://bradburygroup.com/Products/Precision-Roller-Levelers/Flat-Book/The-3-Stage-Leveling-Process>
- [4] ČSN EN 10051 (42 0034): *Kontinuálně za tepla válcované pásy a plechy stříhané z širokého pásu nelegovaných a legovaných ocelí – Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvarů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [5] KOLLEROVÁ, Mária. *Valcovanie*. Bratislava: Alfa, 1991. ISBN 80-05-00729-9.
- [6] ČSN EN 10025-2 (420904): *Výrobky válcované za tepla z konstrukčních ocelí – Část 2: Technické dodací podmínky pro nelegované konstrukční oceli*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
- [7] PRETSCH, Gerhard. *Zkušenosti s realizací projektu dvoustolicové teplé pásové tratě typu Steckel v NH, a. s.* [online]. 2001 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <http://konference.tanger.cz/data/metal2001/sbornik/papers/14.pdf>
- [8] POKORNÝ, Arnošt. *Tvářecí stroje: navíječky, rozvíječky, svinovačky, značkovací, vázací stroje: skriptum*. Ostrava: Vysoká škola báňská v Ostravě, 1993. ISBN 80-7078-199-8.
- [9] ČSN EN 10029 (42 5311): *Plech ocelové válcované za tepla tloušťky od 3 mm – Mezní úchytky rozměrů a tolerance tvaru*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [10] RICHTERK, D. *Optimalizace nastavení rovnaček pro odstranění vlnitosti zatepla válcovaného plechu: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2018, 74 s. Vedoucí práce: Čada, R.



ZKOUŠKA TAHEM ZA POKOJOVÉ TEPLOTY

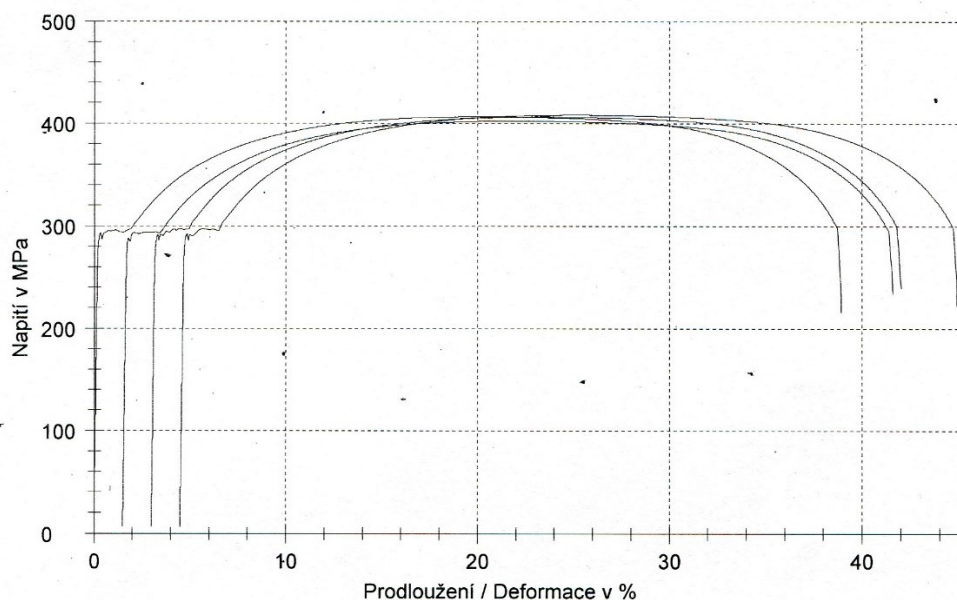
Tabulka parametrů:

Zkušební norma : ČSN EN ISO 6892-1	Číslo tavby :
Zkoušel(a) : Ing. Heinc	Jakost :
Datum : 28.4.2020	Re(min.) :
Zkušební zařízení: Instron 4210	Re(max.) :
Zkušební rychlost: ČSN EN ISO 6892-1:2017 B30	Rm(min.) :
Zadavatel : 1633	Rm(max.) :
Dodací list : 01	A(min.) :
Číslo objednávky :	A(max.) :
Materiál : S235JR	

Tabulka výsledků:

Č.	CISVZO	S0 mm ²	L0 mm	E GPa	Rp0,2 MPa	ReH MPa	Rm MPa	Agt %	A %	A (kor.) %	Akor(such) %	Z %
1	N1A	81,16	50	165	290	-	406	20,17	38,8	38,8	40,1	54
3	N2A	81,44	50	146	285	288	402	20,57	40,0	40,0	41,5	55
4	N3A	81,97	50	161	289	-	406	20,66	38,9	38,9	39,9	52
5	N4A	81,08	50	158	290	-	408	20,48	40,3	40,3	41,6	52

Grafický záznam zkoušky:





ZKOUŠKA TAHEM ZA POKOJOVÉ TEPLoty

Tabulka parametrů:

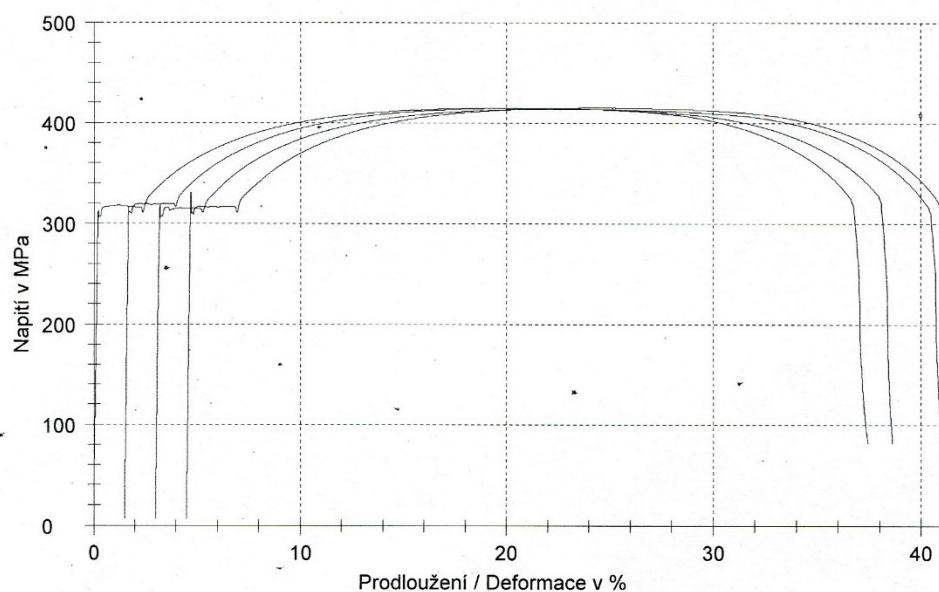
Zkušební norma : ČSN EN ISO 6892-1
 Zkoušel(a) : Ing. Heinc
 Datum : 28.4.2020
 Zkušební zařízení: Instron 4200
 Zkušební rychlost: ČSN EN ISO 6892-1:2017 B30
 Zadavatel : 1633
 Dodací list : 01
 Číslo objednávky :
 Materiál : S235JR

Číslo tavby :
 Jakost :
 Re(min.) :
 Re(max.) :
 Rm(min.) :
 Rm(max.) :
 A(min.) :
 A(max.) :

Tabulka výsledků:

Č.	CISVZO	S0 mm ²	L0 mm	E GPa	Rp0,2 MPa	ReH MPa	Rm MPa	Agt %	A %	A (kor.) %	Akor(such) %	Z %
1	N1C	81,69	50	153	314	313	415	19,81	38,6	38,6	39,9	50
2	N2C	81,73	50	162	315	316	415	19,52	35,9	35,9	36,9	51
3	N3C	80,64	50	180	310	319	414	19,56	37,9	37,5	40,0	51
4	N4C	81,41	50	169	314	331	415	19,57	36,6	36,6	37,9	53

Grafický záznam zkoušky:





ZKOUŠKA TAHEM ZA POKOJOVÉ TEPLOTY

Tabulka parametrů:

Zkušební norma : ČSN EN ISO 6892-1
 Zkoušel(a) : Ing. Heinc
 Datum : 28.4.2020
 Zkušební zařízení: Instron 4210
 Zkušební rychlost: ČSN EN ISO 6892-1:2017 B30
 Zadavatel : 1633
 Dodací list : 01
 Číslo objednávky :
 Materiál : S235JR

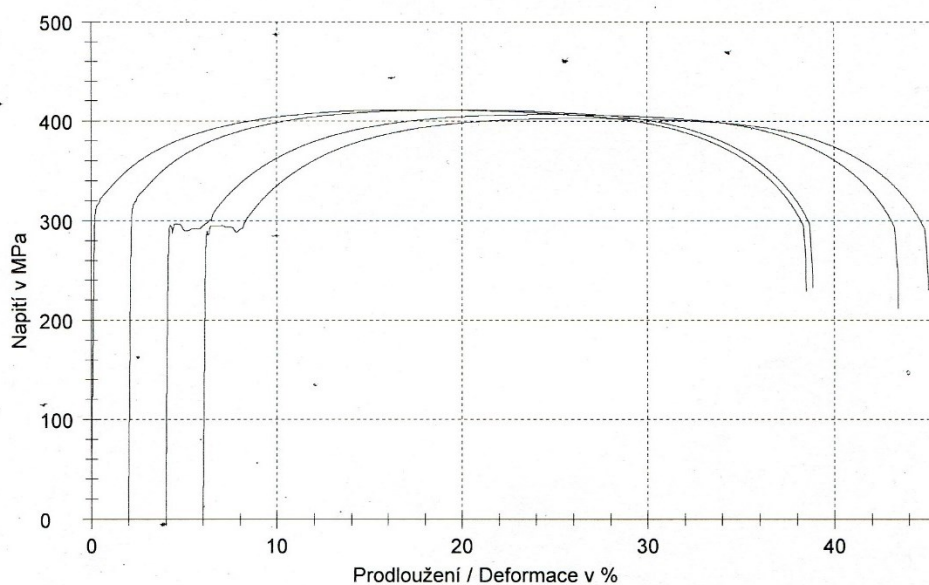
Mechanická zkušebna

Číslo tavby :
 Jakost :
 Re(min.) :
 Re(max.) :
 Rm(min.) :
 Rm(max.) :
 A(min.) :
 A(max.) :

Tabulka výsledků:

Č.	CISVZO	S0 mm ²	L0 mm	E GPa	Rp0,2 MPa	ReH MPa	Rm MPa	Agt %	A %	A (kor.) %	Akor(such) %	Z %
1	T1A	79,15	50	153	317	-	411	17,78	38,4	37,5	40,3	49
3	T2A	78,91	50	170	319	-	411	17,46	36,7	36,7	38,1	48
4	T3A	79,96	50	164	291	295	406	20,38	39,3	39,3	40,4	49
5	T4A	81,12	50	160	289	289	403	20,59	38,9	38,9	40,0	51

Grafický záznam zkoušky:





ZKOUŠKA TAHEM ZA POKOJOVÉ TEPLOTY

Tabulka parametrů:

Zkušební norma : ČSN EN ISO 6892-1
 Zkoušel(a) : Ing. Heinc
 Datum : 28.4.2020
 Zkušební zařízení: Instron 4210
 Zkušební rychlost: ČSN EN ISO 6892-1:2017 B30
 Zadavatel : 1633
 Dodací list : 01
 Číslo objednávky :
 Materiál : S235JR

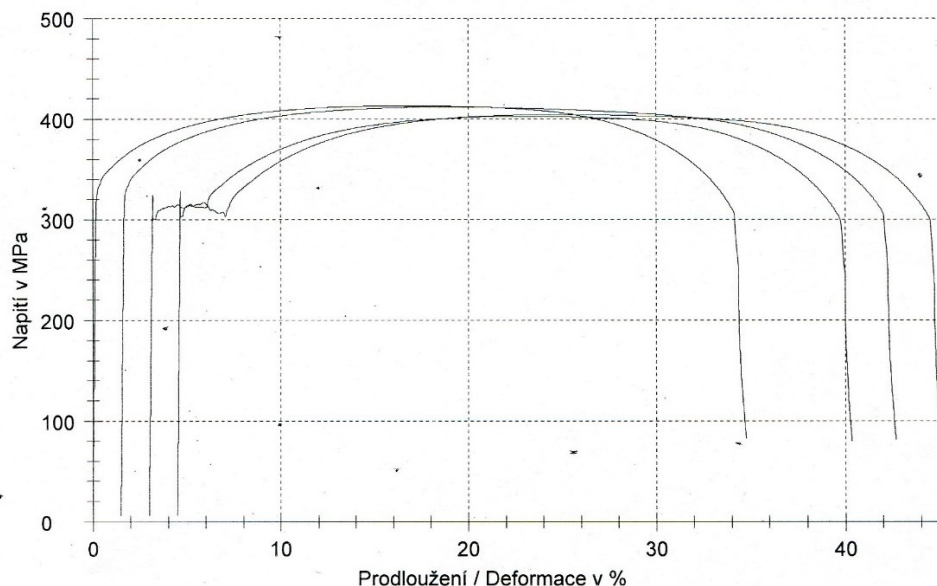
Mechanická zkušebna

Číslo tavby :
 Jakost :
 Re(min.) :
 Re(max.) :
 Rm(min.) :
 Rm(max.) :
 A(min.) :
 A(max.) :

Tabulka výsledků:

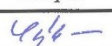
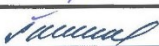
Č.	CISVZO	S0 mm ²	L0 mm	E GPa	Rp0,2 MPa	ReH MPa	Rm MPa	Agt %	A %	A (kor.) %	Akor(such) %	Z %
1	T1C	79,58	50	201	334	-	413	16,70	34,7	35,0	37,9	48
2	T2C	78,91	50	169	333	-	412	17,53	41,1	41,1	43,0	54
3	T3C	81,49	50	181	300	324	402	19,87	37,3	37,0	39,5	52
4	T4C	81,89	50	203	308	328	404	20,64	40,5	40,5	42,3	52

Grafický záznam zkoušky:



PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Číslo protokolu	Protokol/20
Strana č./ počet stran	1/6

Zákazník Daniel Richterek		Výrobek Plechý	
Zkušební list č.		Rozměry	
Zakázka č.		Výkres č.	
Objednávka č.		Materiál S235JR	
		Tavba č.	
Doplňující údaje o zkoušeném výrobku			
Vzorek č. / Datum přijetí N2M, N3M, T2M, T3M / 2020-04-30			
Číslo zkoušky	Zkoušky požadované zákazníkem	Zkušební metoda (norma)	Zkušební zařízení
201	Zkoušení mikrostruktury	QI - VTC.20 GEN - 0020	NK VTC.20/006
Technické podmínky			
Poznámka:			
	Jméno	Podpis	Datum
Zkoušel	Hana Sýkorová		2020-05-05
Kontroloval	Zdeňka Šestáková		2020-05-05
Prohlášení: Dosažené výsledky se týkají pouze zkoušené položky tj. vzorku, jak byl přijat. Laboratoř neodpovídá za odběr vzorku a za data dodaná zákazníkem. Protokol je možno reprodukovat pouze celý, jinak s písemným souhlasem laboratoře.			

Číslo protokolu	Protokol/20
Strana č./ počet stran	2/6

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Zkoušení mikrostruktury

leptadlo č. 74 dle ASTM E 407

Mikrostruktura všech vzorků byla kontrolována na podélných a příčných řezech.

Mikrostruktura všech vzorků je podobná, vcelku rovnoměrná, jemnozrnná, tvořená polyedrickými zrny masivního feritu bez zjevné orientace s četnými drobnými útvary lamelárního perlitu a s řetízky karbidů po hranicích zrn i volnými nerovnoměrně rozloženými karbidy uvnitř zrn - obr. 1 - 8.

Schválil:

2020-05-05

tel. +420 59595 2518



Chodurová

Ing. Marie Chodurová
vedoucí Metalografické zkušebny

Číslo protokolu	Protokol/20
Strana č./ počet stran	3/6

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Zkoušení mikrostruktury – vzorek N2M leptadlo č. 74 dle ASTM E 407

Obr. 1 Podélný řez



Detail k obr. 1



Obr. 2 Příčný řez



Detail k obr. 2



Číslo protokolu	Protokol/20
Strana č./ počet stran	4/6

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Zkoušení mikrostruktury – vzorek N3M

leptadlo č. 74 dle ASTM E 407

Obr. 3

Podélný řez



Detail k obr. 3

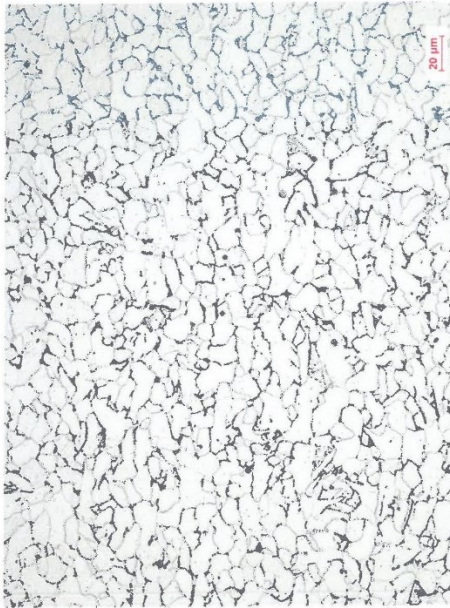


Obr. 4

Příčný řez



Detail k obr. 4



Číslo protokolu	Protokol/20
Strana č./ počet stran	5/6

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Zkoušení mikrostruktury – vzorek T2M

leptadlo č. 74 dle ASTM E 407

Obr. 5

Podélný řez



Detail k obr. 5

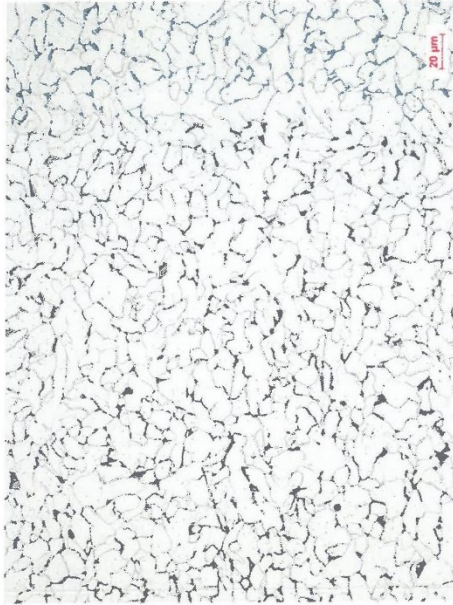


Obr. 6

Příčný řez



Detail k obr. 6



Číslo protokolu	Protokol/20
Strana č./ počet stran	6/6

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ

Zkoušení mikrostruktury – vzorek T3M

leptadlo č. 74 dle ASTM E 407

Obr. 7

Podélný řez



Detail k obr. 7



Obr. 8

Příčný řez



Detail k obr. 8



===== Konec protokolu =====